

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE CHUÑO Y TUNTA PARA
LA OBTENCIÓN DE JARABE DE GLUCOSA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. YURI LIPA SOSA

Bach. MONICA NELIDA MAQUERA CCALLE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO – PERÚ

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

“HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE CHUÑO Y TUNTA
PARA LA OBTENCION DE JARABE DE GLUCOSA”

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. YURI LIPA SOSA
Bach. MONICA NELIDA MAQUERA CCALLE

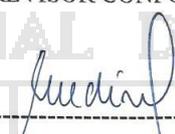
PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

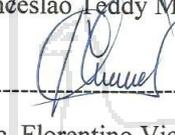
:



Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza

PRIMER MIEMBRO

:



Ing. M.Sc. Florentino Victor Choquehuanca Cáceres

SEGUNDO MIEMBRO

:

Ing. M.Sc. Roger Segura Peña

DIRECTOR DE TESIS

:



Ing. M.Sc. Luis Alberto Jiménez Monroy

ASESOR DE TESIS

:



Ing. Napoleón Jiménez Monroy

PUNO

PERÚ

2013

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes

DEDICATORIA

*A Dios y A mis padres, Juan L. y Esperanza S., y
mis hermanos. Por su apoyo incondicional en mi
formación Espiritual y Profesional
Y. L. S.*



*A Dios y A mis padres, Santiago M. y Lidia I.,
mis hermanos y J. G. Por su apoyo incondicional
en mi vida profesional. M. N. M. Cc.*

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, y la Facultad de Ciencias Agrarias
- A los Ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por los conocimientos y enseñanzas impartidas durante nuestra formación.
- Al Director de Tesis Ing. M.Sc. Luis Alberto Jiménez Monroy; y Asesor de investigación, Ing. Napoleón Jiménez Monroy, a quienes queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento por su inestimable apoyo y orientación en la realización del trabajo.
- A los Ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Al Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza, Ing. M.Sc. Florentino V. Choquehuanca Cáceres, Ing. M.Sc. Pablo Parihuarcaya, Ing. Roger Segura Peña, Ing. Tomas Ancco Vizcarra y a todos los que integran la Familia Agroindustrial. A quienes agradecemos por sus consejos transmitidos a lo largo de nuestra formación profesional.
- También queremos agradecer al Ing. Jorge Canihua Rojas Jefe de laboratorio del centro Experimental INIA. por su asesoría y apoyo.
- A los Señores: Ing. M.Sc. Pedro Coila Añasco; Ing. Benito Fernández Calloapaza; por su apoyo en la ejecución del presente trabajo.
- A los señores Pablito y Germancito a quienes les estimamos mucho y agradecemos inmensamente por su gran apoyo incondicional durante la ejecución del presente trabajo de investigación.
- A nuestros compañeros(as) y amigos(as), que por temor de olvidarnos de alguno va nuestro eterno agradecimiento a todos.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE CUADROS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE APÉNDICES	
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 JARABE DE GLUCOSA.	4
2.1.1 Descripción general.	4
2.1.2 Edulcorantes.	4
2.2 PRINCIPIO DE LA OBTENCIÓN DE JARABE DE GLUCOSA.	5
2.3 ALMIDÓN	5
2.3.1 Clases de almidones.	6
2.3.2 Principio de la obtención del almidón	6
2.4 CHUÑO.	7
2.4.1 Valor nutricional.	7
2.5 TUNTA.	8
2.5.1 Valor nutricional.	8
2.6 ÉPOCA DE ELABORACIÓN DEL CHUÑO Y TUNTA.	9
2.7 FORMAS DE UTILIZACIÓN Y CONSUMO	9
2.7.1 Rendimiento del almidón en papa amarga (<i>solanum juzeczukii</i>), fresca procesada como chuño blanco.	9
2.8 ESTRUCTURA QUÍMICA DEL ALMIDÓN.	10
2.8.1 Amilosa.	10
2.8.2 Amilopectina.	11
2.8.3 Relación entre amilosa y amilopectina.	12
2.9 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALMIDÓN	12
2.9.1 Gelatinización.	14
2.10 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN.	15
2.11 APLICACIONES DEL ALMIDÓN	16
2.12 HIDROLISIS ENZIMÁTICA.	17
2.13 CATALIZADORES UTILIZADOS PARA LA REACCIÓN DE HIDRÓLISIS DEL POLISACÁRIDO DE ALMIDÓN	18
2.13.1 Enzimas hidrolasas.	18
2.13.2 Características de las enzimas hidrolasas.	20
2.14 FASES DE LA REACCIÓN ENZIMÁTICA	22

2.15	FACTORES QUE AFECTAN LA ACTIVIDAD CATALÍTICA.	23
2.16	HIDRÓLISIS DEL ALMIDÓN.	26
2.17	ETAPAS DE LA HIDRÓLISIS DEL ALMIDÓN	26
2.17.1	Licuefacción	26
2.17.2	Sacarificación.	30
2.18	CARACTERÍSTICAS DEL JARABE DE GLUCOSA.	31
2.18.1	color del jarabe de glucosa.	32
2.18.2	Viscosidad	32
2.19	APLICACIONES DEL JARABE DE GLUCOSA	36
2.19.1	Usos de la glucosa líquida en la industria alimentaria	36
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1	MATERIALES.	37
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO.	37
3.2.1	Para la obtención del almidón de chuño y tunta.	37
3.2.2	Para la hidrólisis enzimática del almidón de chuño y tunta	38
3.2.3	Para la determinación de la densidad de maltodextrina y Jarabe de glucosa	39
3.2.4	Para la determinación de pH	39
3.2.5	Para la determinación de la humedad de maltodextrina y Jarabe de glucosa	40
3.2.6	Para la determinación de dextrosa equivalente de maltodextrina y Jarabe de glucosa	40
3.2.7	Para la determinación de la viscosidad de jarabe de glucosa	41
3.3	METODOLOGÍA.	41
3.3.1	Obtención del almidón de chuño y tunta.	41
3.3.2	Análisis realizados sobre el almidón.	44
3.3.3	Hidrólisis enzimática del almidón de chuño y tunta	45
3.4	ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO EN LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA	48
3.4.1	Determinación de la densidad.	48
3.4.2	Determinación de pH.	49
3.4.3	Determinación de humedad.	49
3.4.4	Determinación de la dextrosa equivalente.	50
3.4.5	Determinación de viscosidad.	52
3.4.6	Determinación de color.	52
3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	53
3.5.1	Determinación de Amilosa y Amilopectina.	53
3.5.2	Determinación del mayor grado de hidrólisis.	54

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.	58
4.1 Obtención del almidón de chuño y tunta	58
4.2 Resultados de la determinación del porcentaje de Amilosa y Amilopectina.	60
4.3 Dextrosa equivalente (D.E.) en la etapa de licuefacción del almidón de chuño y tunta	62
4.4 Determinación del grado de hidrolisis en la sacarificación de las maltodextrinas.	68
4.5 Determinación de las características de los jarabes de glucosa.	75
V. CONCLUSIÓN.	78
VI. RECOMENDACIONES.	79
BIBLIOGRAFIA.	80
ANEXO.	87
APÉNDICE.	99



INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición nutricional de chuño	7
Tabla 2. Composición nutricional de la tunta	8
Tabla 3. Rendimiento de la obtención del almidón en papa amarga y procesada como chuño blanco	10
Tabla 4. Relación Amilosa /Amilopectina de algunos almidones	12
Tabla 5. Composición química de los almidones	13
Tabla 6. Condiciones para la obtención de maltodextrina	28
Tabla 7. Características típicas de Jarabe de glucosa obtenido mediante hidrólisis Enzimática del almidón.	31
Tabla 8. Viscosidad del JMAF y de otros edulcorantes	32
Tabla 9. Clasificación subjetiva de la densidad óptica	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de Amilosa	10
Figura 2. Estructura química de la Amilopectina	11
Figura 3. Gelatinización del almidón	15
Figura 4. Enzima amilolítica (alfa amilasa)	19
Figura 5. Enzima amilolítica (Glucoamilasa)	20
Figura 6. Temperatura óptima de actividad enzimática	23
Figura 7. pH óptima de actividad enzimática	24
Figura 8. Hidrólisis de almidón	26
Figura 9. Reacción de Fehling	30
Figura 10. Comportamiento de fluidos no newtonianos	34
Figura 11. Diagrama de flujo para extracción de almidón de chuño y tunta	42
Figura 12. Diagrama de flujo para la obtención de jarabe de glucosa del almidón de chuño y tunta.	45
Figura 13. Dextrosa equivalente de las maltodextrinas del chuño y la tunta en función a diferentes concentraciones de enzima(X1), tiempo(X2) y temperatura (X3)	67
Figura 14. Dextrosa equivalente de los jarabes del chuño y la tunta en función a diferentes concentraciones de enzima(X1), tiempo(X2) y temperatura (X3)	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Estructura del diseño experimental de la determinación de amilosa / amilopectina.	54
Cuadro 2.	VARIABLES INDEPENDIENTES CODIFICADAS Y NATURALES USADAS PARA LA GENERACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL ROTABLE	55
Cuadro 3.	Estructura para el análisis del diseño experimental central compuesto rotatable de la determinación de grado de hidrólisis.	57
Cuadro 4.	Rendimiento del almidón de chuño y tunta	58
Cuadro 5.	Promedios del porcentaje de amilosa y amilopectina del almidón chuño, tunta y almidón químicamente puro AQP	60
Cuadro 6.	Licuefacción de almidón de chuño y tunta con variables involucradas según el modelo de superficies de respuesta utilizado	63
Cuadro 7.	Análisis de varianza de concentración, tiempo y temperatura para dextrosa equivalente de las maltodextrinas de chuño.	64
Cuadro 8.	Análisis de varianza de concentración, tiempo y temperatura sobre la D.E. de las maltodextrinas de tunta	65
Cuadro 9.	Valores óptimos obtenidos por el método analítico en la etapa de licuefacción.	68
Cuadro 10.	Sacarificación de los hidrolizados de almidón de chuño y tunta con variables independientes según el modelo de superficies de respuestas utilizado.	69
Cuadro 11.	Análisis de varianza de concentración, tiempo y temperatura sobre la D.E. de los jarabes de glucosa de chuño.	70
Cuadro 12.	Análisis de varianza de concentración, tiempo y temperatura sobre la D.E. de los jarabes de glucosa de tunta.	71
Cuadro 13.	Valores óptimos obtenidos por el método analítico en la etapa de sacarificación	72
Cuadro 14.	Características fisicoquímicas de los jarabes de glucosa	76

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	Proceso de extracción de almidón de chuño y tunta.	87
ANEXO 2:	Certificado del análisis del contenido de Amilosa y Amilopectina	89
ANEXO 3:	Certificado de análisis fisicoquímicos del almidón de chuño y tunta	90
ANEXO 4:	Proceso de hidrólisis enzimática del almidón de chuño y tunta	91

ANEXO 5:	Picnómetro para la determinación de la densidad en maltodextrinas y jarabes de glucosa	93
ANEXO 6:	Potenciómetro para la determinación de pH en jarabe	93
ANEXO 7:	Estufa para la determinación de humedad	93
ANEXO 8:	Desecador de humedad	94
ANEXO 9:	Solución Fehling “A” y “B”	94
ANEXO 10:	Determinación cualitativa de Azúcares Reductores	95
ANEXO 11:	Sistema para la determinación de viscosidad aparente en jarabes de glucosa	95
ANEXO 12:	Certificado de la determinación de color en unidades de densidad óptica en el jarabe de glucosa de chuño y tunta	96
ANEXO 13:	Constancia para realizar la determinación de viscosidad	97
ANEXO 14:	Certificado de la harina de chuño y tunta.	98

ÍNDICE DE APÉNDICES

APÉNDICE 1:	Porcentaje de Amilosa y Amilopectina del Almidón de Chuño y Tunta	99
APÉNDICE 2:	Análisis de varianza de amilosa del almidón de chuño y de AQP	99
APÉNDICE 3:	Prueba de Tukey al 95% de confianza en comparación de amilosa del almidón de Chuño y AQP	99
APÉNDICE 4:	Análisis de varianza de amilopectina del almidón de chuño y de AQP.	99
APÉNDICE 5:	Prueba de Tukey al 95% de confianza en comparación de amilopectina del almidón de Chuño y AQP	99
APÉNDICE 6:	Análisis de varianza de amilosa del almidón de tunta y de AQP	100
APÉNDICE 7:	Prueba de Tukey al 95% de confianza en comparación de amilosa del almidón de Tunta y AQP	100
APÉNDICE 8:	Análisis de varianza de amilopectina del almidón de tunta y de AQP.	100
APÉNDICE 9:	Prueba de Tukey al 95% de confianza en comparación de amilopectina del almidón de Tunta y AQP	100
APÉNDICE 10:	Procedimiento para la determinación de la dextrosa equivalente en la etapa de licuefacción	101
APÉNDICE 11:	Procedimiento para la determinación de la dextrosa equivalente en la etapa de sacarificación	103
APÉNDICE 12:	Curva de fluidez del jarabe de glucosa de chuño	105
APÉNDICE 13:	Curva de viscosidad del jarabe de glucosa de chuño	105
APÉNDICE 14:	Curva de fluidez jarabe de glucosa de tunta	106
APÉNDICE 15:	Curva de viscosidad jarabe de glucosa de tunta	106.

RESUMEN

La obtención de jarabe de glucosa a partir de la hidrólisis enzimática del almidón de chuño y tunta se realizó como una alternativa de edulcorante frente al jarabe comercial de maíz que hoy predomina en el mercado de los edulcorantes. El almidón de chuño y tunta es de gran interés por presentar una fracción considerable de amilosa, proteína y grasa sin necesidad de realizar procesos de desproteinizado y desengrasado del almidón para efectuar la hidrólisis enzimática. Por lo que se determinó la amilosa y amilopectina en el almidón de chuño y tunta con la finalidad de realizar la hidrólisis enzimática del almidón en licuefacción y sacarificación, determinando el mayor grado de hidrólisis expresado en dextrosa equivalente, por otra parte se evaluó sus características de color y viscosidad en comparación al jarabe comercial. El porcentaje de amilosa determinado en el almidón de chuño y tunta fue mayor al del almidón químicamente puro. Sin embargo el mayor grado de hidrólisis en la licuefacción del almidón obtenido del chuño y tunta se dio a través de la medida del porcentaje de azúcares reductores presentes en la maltodextrinas, cuantificada como dextrosa equivalente, la cual es mayor a las maltodextrinas del maíz. Asimismo la mayor eficacia de hidrólisis en la sacarificación de maltodextrina, se obtuvo bajo condiciones dependientes de la enzima glucoamilasa, tiempo y temperatura cuantificado en 40.74% y 38.49% dextrosa equivalente para obtener jarabe de glucosa de chuño y tunta respectivamente, este valor es ligeramente cercano a una conversión normal de jarabe glucosa. Finalmente los jarabes de glucosa de chuño y tunta presentaron una viscosidad baja y un color en unidades de densidad óptica similar al del jarabe de glucosa maíz.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los jarabes de glucosa generalmente son obtenidos a partir de la hidrólisis enzimática de los almidones de maíz, siendo utilizada en la industria confitera y de alimentos procesados los cuales proporcionan dulzura, textura, brillo, control de cristalización y humectación.

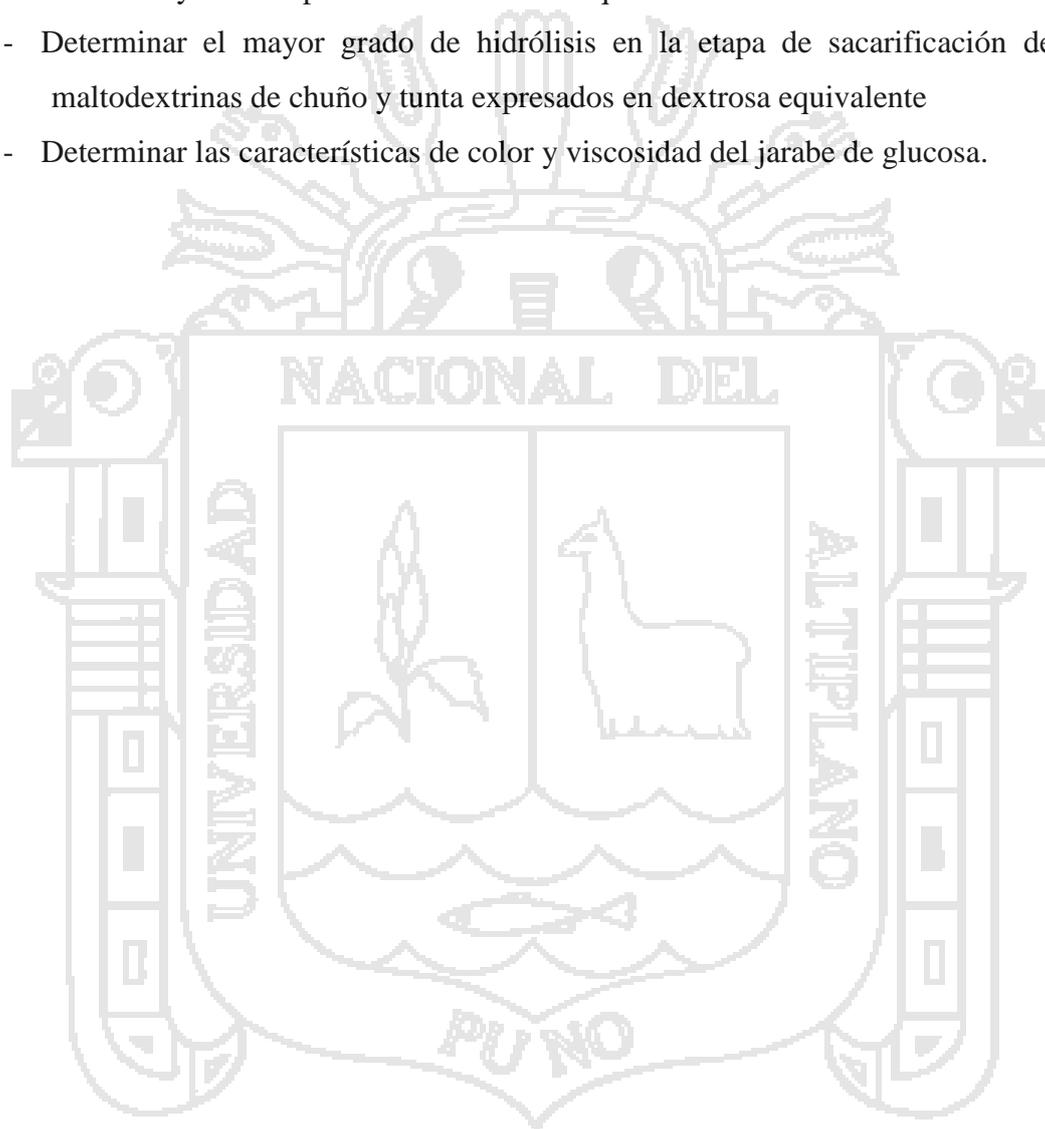
La hidrólisis del almidón es de gran interés en la biotecnología, ya que el almidón constituye la principal fuente alimenticia proveniente de los rubros de alto consumo como cereales, tubérculos y raíces; justificando cualquier alternativa conducente a aumentar su valor agregado, mejorando sus propiedades fisicoquímicas, requiriendo modificaciones previas a su utilización, entre los métodos más utilizados esta la hidrólisis enzimática. La cual es importante por permitir la modificación del almidón, obteniendo productos como dextrinas, maltodextrinas y jarabe de glucosa.

En la región de Puno existe diversas fuentes de extracción del almidón en cereales y tubérculos que proporcionan un alto rendimiento del almidón presentando así un potencial que puede ser explotado buscando nuevas alternativas que aumenten su valor agregado dentro de la cadena productiva. Tal es el caso del almidón obtenido del chuño y de la tunta, los cuales son tubérculos deshidratados obtenidos a partir de la papa amarga (*Solanum juzepczukii*), denominada locka, estos almidones no contienen grasa y presentan menores contenidos de proteína y amilosa formando un sustrato (almidón), favorable en la hidrólisis enzimática, en comparación al almidón de papa, el cual presenta mayor cantidad de proteína, grasa y amilosa. El cual tendría que pasar por un proceso de desproteínizado, desengrasado entre otros; para ser utilizado como sustrato adecuado.

Por lo que el almidón de chuño y tunta representa una expectativa para el desarrollo de productos alimenticios alto andinos y con la finalidad de evaluar dicho potencial, El almidón de chuño y tunta fue sometido a un proceso de hidrólisis enzimática para obtener jarabe de glucosa, la cual podría ser una alternativa más dentro de los edulcorantes, ya que en su mayoría son obtenidos del almidón de maíz reflejado como jarabe de glucosa comercial.

Por lo que se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar el porcentaje de amilosa y amilopectina presente en el almidón de chuño y tunta, en relación al almidón químicamente puro mediante la cuantificación espectrofotométrica.
- Determinar el mayor grado de hidrólisis en la etapa de licuefacción del almidón de chuño y tunta expresados en dextrosa equivalente.
- Determinar el mayor grado de hidrólisis en la etapa de sacarificación de las maltodextrinas de chuño y tunta expresados en dextrosa equivalente
- Determinar las características de color y viscosidad del jarabe de glucosa.



II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 JARABE DE GLUCOSA.

2.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL:

El jarabe de glucosa (glucosa líquida) se define en la legislación de la CE como una solución acuosa refinada de D (+) glucosa, maltosa y otros polímeros de D (+) glucosa obtenidos mediante hidrólisis parcial controlada del almidón comestible. La definición del código, que también es usada en la legislación del Reino Unido, es una solución acuosa concentrada y purificada de los sacáridos nutritivos obtenida del almidón (Kirk, et. *al.* 2002).

El jarabe de glucosa es un producto perteneciente a los edulcorantes. El cual es una sustancia que imparte sabor dulce en un alimento.

2.1.2 EDULCORANTES.

El endulzado de los alimentos comprende el uso de los azúcares normales de los alimentos, los productos de conversión del almidón y jarabes de glucosa, las melazas y las mieles. Además de la sensación de dulzura, estos carbohidratos proporcionan un considerable valor energético y a concentraciones elevadas tiene una importante acción preservativa.

Los edulcorantes diferentes de los carbohidratos deben proporcionar un adecuado grado de dulzura que justifique su uso, pero no necesariamente requieren de otros atributos de los productos del azúcar permitido. Los edulcorantes no carbohidratos se dividen en dos categorías aquellos con un efecto edulcorante similar a la sacarosa – edulcorantes a granel y los edulcorantes intensos, que tienen una dulzura muchas veces mayor que la sacarosa (Kirk, et. *al.* 2002).

a. Edulcorantes a granel.

Los cuales no son fermentables pero son absorbidos y metabolizados por el hombre mediante rutas diferentes al de la mayoría de los azúcares presentes en los alimentos para dar el mismo número de calorías por gramo, son valiosos en la preparación de productos "libres de azúcar" que consumen los diabéticos en dietas especiales y en la preparación de productos endulzados. Como el Jarabe de glucosa, isomaltosa, sorbitol, manitol, etc.

b. Edulcorantes intensos.

Incluyen los productos sintéticos que antes se controlaban como "edulcorantes artificiales", como la sacarina, ciclamato, aspartame y otros junto a una variedad de materiales derivados de los alimentos naturales dulces pero poco comunes. Estos se utilizan como alimentos para diabéticos." Libres de azúcar" o "para adelgazar" para completar el efecto de edulcorante a granel (Kirk, *et. al.* 2002).

2.2 PRINCIPIO DE LA OBTENCIÓN DE JARABE DE GLUCOSA.

La principal fuente para la obtención de jarabes de glucosa, por razones técnicas y económicas se produce a partir del almidón de maíz; sin embargo también se utiliza otras fuentes como la papa, la tapioca y en especial el trigo. Desde hace algunos años se están utilizando almidones de otras fuentes como son la yuca, papa, trigo, arroz, amaranto y plátano, entre otros (Gorosquieta, 2003).

2.3 ALMIDÓN.

Los almidones son principales constituyentes de muchos alimentos. Son carbohidratos naturales que forman las reservas de nutrientes de las plantas, el cual representa una fracción importante en un gran número de productos agrícolas como los cereales (maíz, trigo, arroz) cuyo contenido de almidón va del 30 - 80 %, en las leguminosas (frijol, chícharo, haba) con un 25 - 30

% de este carbohidrato, y los tubérculos (papa, yuca), en los que el almidón representa entre un 60 - 90 %; algunas frutas como el plátano y el mango en estado inmaduro llegan a contener hasta un 70 % de almidón. (González, 2002).

El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que, en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas (gránulos). Los gránulos de almidón son relativamente densos, insolubles y se hidratan muy mal en agua fría. Pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas.

2.3.1 CLASES DE ALMIDONES.

- a. **Almidones nativos.** Se les denomina así porque son almidones que no han sufrido ningún tipo de modificación química durante su obtención como maíz y trigo, los cuales se utilizan ampliamente en alimentación para proporcionar, Viscosidad, y Textura crujiente en aperitivos. (Tate & Lyle, 2010).
- b. **Almidones modificados.** Se les denomina así porque son almidones que han sufrido algún proceso de modificación química durante su obtención. Los almidones modificados proporcionan una mejora en la funcionalidad, consistencia y fiabilidad para resistir las exigencias del moderno procesado alimentario, así como para satisfacer las demandas de alimentos innovadores y de alta calidad. (Tate & Lyle, 2010).

2.3.2 PRINCIPIO DE LA OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum spp.*), varios tipos de arroz (*Oryza sativa*), de algunas raíces y tubérculos, particularmente de la patata (*Solanum tuberosum*), y mandioca (*Manihot esculenta*).

2.4 CHUÑO.

Es un tubérculo deshidratado, sin cáscara de color pardo oscuro, obtenido mediante un proceso de congelado, descongelado, pisado, descascarado (exprimido), re-congelado y secado al sol (al efecto combinado de las heladas y el sol) – frotado y venteado. (INIA, 1996).

2.4.1 VALOR NUTRICIONAL.

La composición nutricional de chuño negro por 100 g de porción comestible, se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición nutricional de chuño

Composición	Cantidad
Energía (Kcal)	333.
Agua (g)	14.1
Proteína (g)	4.0
Grasa (g)	0.2
Carbohidrato (g)	79.4
Fibra (g)	1.9
Ceniza (g)	2.3
Calcio (mg)	44
Fosforo (mg)	203
Hierro (mg)	0.9
Retinol	-
Tiamina (mg)	0.13
Rivoflavina (mg)	0.17
Niacina (mg)	3.40
Acido ascorbico (mg)	1.7

Fuente: Collazos (1996).

2.5 TUNTA.

Según, Gianella (2004). La tunta es un alimento rico en calorías con alta concentración de almidón y minerales como calcio y hierro. Elaborado mediante un proceso de deshidratación de tubérculos a través de sucesivos congelamientos con protección solar, sumergido en agua corriente (rio) durante un periodo largo, entre 21 a 30 días para el lavado de los glicoalcaloides y secado al sol. (INDECOPI, 2007).

2.5.1 VALOR NUTRICIONAL.

En la Tabla 2, se observa la composición nutricional de la tunta.

Tabla 2. Composición nutricional de la tunta

Composición	Cantidad
Energía (Kcal)	323
Agua (g)	18.1
Proteína (g)	1.9
Grasa (g)	0.5
Carbohidrato (g)	77.7
Fibra (g)	2.1
Ceniza (g)	1.8
Calcio (mg)	92
Fósforo (mg)	54
Hierro (mg)	3.3
Retinol (mg)	0
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.38
Ácido Ascórbico (mg)	1.1

Fuente: Collazos (1996).

2.6 ÉPOCA DE ELABORACIÓN DEL CHUÑO Y TUNTA.

En la zona sur del Perú y principalmente en el Altiplano puneño, la época más adecuada para la elaboración de chuño y tunta es entre los meses de mayo, junio y julio; donde se registran temperaturas bajas del año, pudiendo descender hasta -17°C , las temperaturas de -5°C son suficientes para provocar el congelado en la papa. A medida que la temperatura desciende por debajo de -5°C , se requiere una o dos noches de exposición del tubérculo a heladas y mayores de -5°C , se requieren de 3 a 5 noches o más para un congelado completo. (INIA, 2006).

2.7 FORMAS DE UTILIZACIÓN Y CONSUMO.

El chuño y tunta son productos que se comercializan en los mercados de mayor importancia como Ilave, Juliaca, Puno, Yunguyo, Azángaro, Ayaviri y se exportan dependiendo a la calidad mayormente mayormente a otros departamentos como: Arequipa, Cuzco, Lima, Trujillo, Tacna, Moquegua y otros países como Bolivia, donde estos productos son cotizados, principalmente la tunta. (INIA, 1996). Se consumen cocidos en diversos potajes tradicionales (Thimpo, caldo de cabeza, entre otros), formando parte de los ingredientes en la preparación culinaria empleado en cocción para diversos potajes característicos de la región y del país

2.7.1 RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN EN PAPA AMARGA (*Solanum juzeczukii*) FRESCA Y PROCESADA COMO CHUÑO BLANCO.

Las características del almidón de la papa se encuentran reportadas por Foraquita (2003), quien obtuvo el almidón de papa amarga en algunas variedades el cual fue extraído por vía humedad y comparada con sus procesados (chuño blanco) a nivel laboratorio reportando el siguiente rendimiento en la Tabla 3.

Tabla 3. Rendimiento de la obtención del almidón en papa amarga y procesada como chuño blanco

Variedad de papa	Rendimiento de almidón	
	Papa (%)	Chuño blanco (%)
Okukuri (amarga)	11.6	23.8
Piñaza (amarga)	9.6	19.6.
Locka (amarga)	11.1	18.9

Fuente: Foraquita (2003).

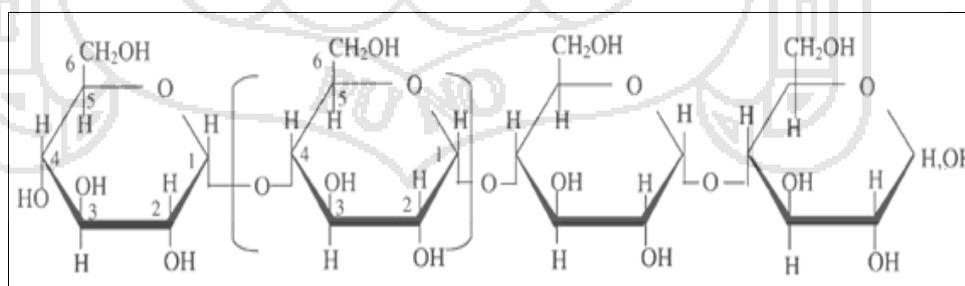
2.8. ESTRUCTURA QUÍMICA DEL ALMIDÓN.

Martínez (2006), indica que el almidón químicamente es un polisacárido homogéneo que está formado por una mezcla de dos polisacáridos amilosa y amilopectina; los dos constituyentes del almidón difieren estructuralmente y por tanto los consideramos por separado.

2.8.1 AMILOSA.

La amilosa está compuesta por cadenas largas en forma de hélice constituidas por unidades de glucosa unidas, en aproximadamente 99% por enlaces α -(1,4) y alrededor de 1% por enlaces α -(1,6), conteniendo alrededor de 1000 moléculas de glucosa como se observa en la Figura 1. (Tester, et. al. 2004).

Fig. 1. Estructura química de Amilosa



Fuente: Tester & Karkalas (2001).

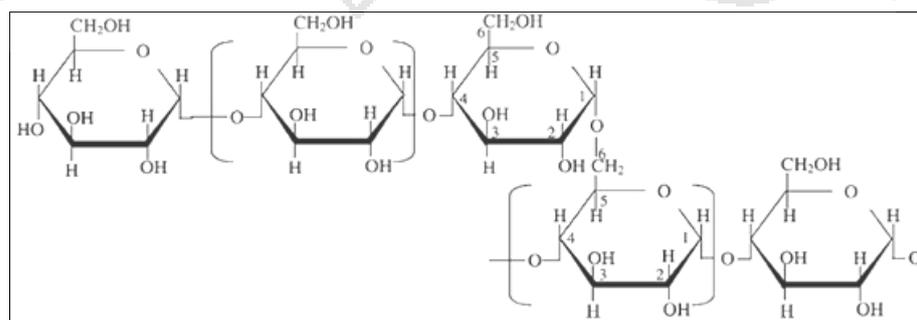
Por su contenido de amilosa, los almidones se pueden clasificar en diferentes grupos como los almidones cerosos que contienen muy poca cantidad de amilosa alrededor de 1%, los normales contienen entre 18-30% de amilosa y los altos en amilosa contienen 70% ó más de este polímero (Aguilar, 2007). Por ejemplo, el almidón de maíz normal tiene una concentración de amilosa entre 22-27%, el almidón de maíz amiláceo tiene un contenido de amilosa que oscila entre 50-70% y el almidón de maíz ceroso contiene 0-2% en amilosa, lo que le confiere la propiedad de tener un bajo grado de viscosidad y ser más fácil de modificar su estructura por métodos químicos. (Torres, 2007).

Los almidones ricos en amilosa son menos solubles y presentan una mayor resistencia a su degradación química o enzimática. Además de formar sistemas opacos presentando la tendencia a retrogradar, debido a su alto contenido de amilosa (Singh, et. al. 2003). Sin embargo, un almidón con bajo contenido de amilosa presenta mayor susceptibilidad a la hidrólisis enzimática en consecuencia aumenta el rompimiento de los enlaces alfa-D, 1,4 y alfa-D, 1,6 glucosídicos. (Rocha, et. al. 2005; Mera, et. al. 2003).

2.8.2 AMILOPECTINA.

La amilopectina, es un polímero ramificado compuesto por unidades de glucosa en aproximadamente 95% con enlaces α -(1,4), presenta alrededor de 5% en puntos de ramificación mediante enlaces α -(1,6) formadas por cadenas lineales constituidas de 15 a 35 unidades de glucosa. (Figura 2). (Tester, et. al. 2004).

Fig. 2. Estructura química de la Amilopectina



Fuente: Tester & Karkalas (2001),

2.8.3 RELACIÓN ENTRE AMILOSA Y AMILOPECTINA.

La relación amilosa/amilopeptina en los almidones varía de acuerdo al origen botánico y de la fuente de obtención (Tabla 4); siendo factores importantes que determinan la longitud de las cadenas de maltodextrinas. Las cantidades relativas de estos dos polímeros y su organización física dentro del gránulo le confieren propiedades particulares a cada almidón (Rocha, et. *al.* 2005; Singh, et. *al.* 2003).

Tabla 4. Relación amilosa/amilopeptina de algunos almidones.

Tipo	Amilosa (%)	Amilopeptina (%)
Maíz	29.3	70.7
Papa	26.9	74.1

Fuente: (Jiménez, et. *al.* 2007; Delgado, et. *al.* 2009).

Las moléculas adyacentes de amilosa y amilopeptina interactúan a través de puentes de hidrógeno, formando paquetes cristalinos orientados radialmente llamados micelas. Estas micelas mantienen unido al gránulo, permitiendo su hinchamiento en agua caliente y la solubilización de moléculas individuales de almidón, sin rompimiento del gránulo. (Tester & Karkalas, 2001).

2.9 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALMIDÓN.

La composición química de los almidones depende de la fuente botánica, proceso de obtención y purificación, así como de las condiciones de almacenamiento. El contenido de humedad en los gránulos de almidón va de un 10 a 12% en cereales; de 14 a 19% en almidones de tubérculos y raíces (Tabla 5). Por ejemplo, la humedad en el almidón de maíz es de 10.5 a 12.5% (IIT, 1974). Un contenido superior de humedad puede ocasionar daño microbiano, el deterioro en la calidad del polímero. Además, todos los almidones contienen pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, fósforo y trazas de materiales inorgánicos. (Moorthy, 2002).

Tabla 5. Composición química de almidones

Fuente	Humedad ^{1,3}	Lípidos ³	Proteínas ^{2,3}	Fosforo ³	Cenizas ³
Maíz	13	0.60	0.35	0.015	0.10
Papa		0.05	0.06	0.100	0.40
Trigo	19	0.80	0.40	0.060	0.15
Tapioca	14	0.10	0.10	0.010	0.20
Maíz cereo	13	0.20	0.25	0.007	0.07
Sorgo	13	0.70	0.30	-	0.08
Arroz	-	0.80	0.45	0.003	0.50
Sagu	-	0.10	0.10	0.020	0.20
Amilomaiz	13	0.40	-	0.070	0.20
Camote	13	0.05	-	-	0.10

1: Determinación a una humedad relativa de 65%

2: Estimado de acuerdo al % de nitrógeno x 6.25.

3: Estimado en porcentajes

Fuente: Moorthy (2002).

El Fósforo presente en el almidón, proporciona una mayor estabilidad al descongelamiento, así como un incremento en la claridad de las pastas. (Tester, *et. al.* 2004).

Los lípidos tienen un marcado efecto en la calidad, propiedades físicas y funcionales de los almidones, estos disminuyen la capacidad de hinchamiento, la solubilidad y la capacidad de retención de agua; son causantes de la formación de sabores indeseables durante el almacenamiento debido a su rancidez. Da lugar a pastas, películas turbias y opacas debido a la formación de complejos amilosa-lípidos insolubles, lo que afecta la viscosidad de los geles preparados con estos almidones. (Crowe, *et. al.* 2000).

Los gránulos de almidón de papa y yuca contienen un pequeño porcentaje de lípidos, comparados con los almidones de los cereales maíz y arroz los cuales contienen 0.6 y 0.8 % respectivamente. Esta composición hace que los lípidos formen un complejo con la amilosa. La cual tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos de almidón; por esta razón se necesitan temperaturas altas (> a 125°C), para romper la estructura amilosa- lípido. (Hurtado, 1997). La presencia de grasa en el almidón afecta negativamente en su capacidad de retención de agua, solubilidad y claridad los cuales puede crear

problemas por la tendencia a la rancidez durante el almacenamiento. (Estrada, *et. al.* 2009).

Las proteínas afectan al sabor y aroma del almidón. Estas proteínas pueden afectar la carga superficial del gránulo, lo cual influye directamente la velocidad de hidratación, la velocidad de hinchamiento, y la gelatinización del mismo. (Moorthy, 2002).

El almidón de un tubérculo granos trans amarrantus caudatus Lineo contiene menor cantidad de proteína (0.4%) en comparación al almidón de los cereales, los cuales contienen aproximadamente 0.6%. Entre ellos el almidón de maíz que contiene alrededor de 0.5 a 0.6% de proteína (Debet & Gidley, 2006; Jiménez, *et. al.* 2007; Calixto & Arnao, 2004). Al igual que los lípidos las proteínas se encuentran asociadas con el gránulo de almidón.

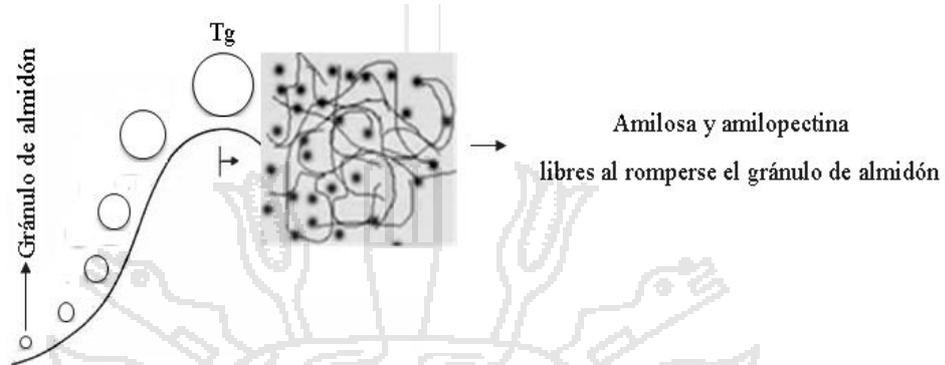
El almidón contiene cantidades de minerales menores a 0.5% entre los que destacan; calcio, magnesio, potasio, sodio y fósforo, los cuales, con excepción del fósforo son de poca importancia en la funcionalidad del almidón. (Tester, *et. al.* 2004).

2.9.1 GELATINIZACIÓN.

La gelatinización del almidón es un proceso que se da en presencia de agua en el cual, se pasa de un estado ordenado (estructura cristalina) a un estado desordenado en el que se absorbe calor; es decir, la gelatinización transforma a los gránulos insolubles del almidón, en una solución de sus moléculas constituyentes (amilosa y amilopectina) en forma individual. Para poder llevar a cabo la hidrólisis del almidón, es necesario realizar una gelatinización del gránulo, con la finalidad de que pueda ser hidrolizado fácilmente por las enzimas. Es decir, este proceso provoca la susceptibilidad de los gránulos al ataque enzimático (Oesten, 1982). Si se administra más calor, el almidón hinchado e incapacitado para retener el líquido se rompe parcialmente la amilosa y la amilopectina, fuertemente

hinchados se dispersan en el seno de la disolución como se observa en la Figura 3.

Fig. 3. Gelatinización del almidón



Fuente: Badui (2001)

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero se hidratan e hinchan en agua caliente dando origen a la formación de pastas viscosas. Este hinchamiento de los gránulos de almidón es reversible hasta una cierta temperatura conocida como temperatura de gelatinización, la cual es característica de cada tipo de almidón y corresponde a la temperatura en la cual alcanza la máxima viscosidad, se rompen los gránulos solubilizando amilosa y amilopectina; la amilosa se difunde en el agua formando una malla, generando un gel y la amilopectina permanece en el gránulo para posteriormente perder su orden. (Singh, et. al. 2003). Por otro lado, Taggart (2004); reporta las temperaturas de gelatinización para algunos almidones como: maíz (62-72°C), yuca (62-73°C) y arroz (68-78°C).

2.10 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN.

La obtención del almidón a partir de papa, yuca y otros puede dividirse en dos métodos: vía húmeda y la vía seca.

a. Vía húmeda.

La obtención por vía húmeda se caracteriza por separar el almidón del resto de componentes, por medio del agua, aprovechando su característica de insolubilidad hasta un tamaño de partícula que facilite la separación del

almidón del resto de sólidos de la materia prima; una vez colectado el almidón en la fase acuosa o líquida junto con los otros constituyentes solubles en agua se proceda un lavado con agua y a una separación posterior del almidón (sólido) de los otros constituyentes solubles en agua(líquido) esto generalmente, mediante decantación y centrifugación, el precipitado resultante es finalmente secado, tamizado y envasado en bolsas de polietileno con sello hermético. (Calixto & Arnao, 2004).

b. Vía seca.

La obtención del almidón por vía seca consiste en lavado, pelado, cortado o triturado, secado o molido, la separación se realiza por diferencia de densidades, forma u otra característica, pudiendo hacerse por tamices rotatorios, separadores, neumáticos u otros medios, la ventaja radica en el alto contenido de proteínas en el producto final, característica que es deseable cuando se tiene interés en utilizar el producto para consumo humano; la desventaja que presenta es la de proporcionar un producto impuro, de color ligeramente amarillento, lo que limita su uso en la industria, donde la calidad nutritiva del almidón (contenido en proteínas) no es un factor demasiado importante.(Foraquita, 2003).

2.11 APLICACIONES DEL ALMIDÓN.

Tanto los almidones como los almidones modificados tienen un número enorme de posibles aplicaciones en los alimentos, que incluyen las siguientes: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante. En general, el almidón mejora las propiedades de los alimentos, modificando su estructura y consistencia además de ser fuente de numerosos monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos. En la mayoría de las aplicaciones, el almidón es hidrolizado a glucosa, maltosa o maltodextrinas.

Entre los principales usos del almidón en la industria alimentaria destacan: la elaboración de jarabes con alto contenido de glucosa y jarabes con alto contenido de fructosa, la obtención de glucosa y fructosa cristalina, así como la obtención de dextrinas, maltodextrinas y ciclodextrinas. Desde el punto de vista de cantidad, la modificación más importante a la que se somete el almidón es su hidrólisis en la producción de edulcorantes. (Shamekh, et. *al.* 2002).

2.12 HIDROLISIS ENZIMÁTICA.

La hidrólisis es el proceso químico en el cual una molécula es separada en dos partes por la adición de una molécula de agua. La reacción se lleva a cabo cuando uno de los fragmentos del par molecular gana una molécula de hidrogeno (H⁺) mientras que el otro grupo recibe un grupo hidroxilo (OH⁻). (Bailey, 1995).



Las reacciones de hidrólisis se basan en el rompimiento de tres tipos principales de macromoléculas que son los polipéptidos, los polisacáridos y los ácidos nucleicos. (Bugg, 2004). Cuando la molécula está compuesta por almidón el polisacárido es fraccionado en oligosacáridos de bajo peso molecular.

La reacción de hidrólisis se puede representar por una ecuación reversible de tipo ácido-base (Ecuación 1) la cual implica varios pasos; la etapa más lenta es cuando se genera un enlace covalente entre los átomos de oxígeno de la molécula de agua y el átomo de carbono. Posteriormente los enlaces carbono-oxígeno de los grupos funcionales y los iones de hidrogeno desprendidos de la molécula de agua se unen a la molécula de alcohol naciente. (Boyer, 2000).

2.13 CATALIZADORES UTILIZADOS PARA LA REACCIÓN DE HIDRÓLISIS DEL POLISACÁRIDO DE ALMIDÓN.

Existen dos clases de catalizadores utilizados industrialmente para la realización de la hidrólisis, el primero consiste en la reacción llevada a cabo con un agente ácido como el sulfúrico o el clorhídrico, que actúan a altas temperaturas y/o presiones. El segundo catalizador es un agente enzimático, el cual es una sustancia orgánica no viva que actúa como catalizador de reacciones bioquímicas específicas.

Los catalizadores enzimáticos afectan el curso y la velocidad de una reacción sin afectar el equilibrio ni la morfología de la proteína. La reacción se lleva a cabo en el centro activo la cual se une específicamente al sustrato llevando a cabo la reacción en un complejo enzima – sustrato. (Doble, 2004), lo que permite una alta selectividad de sustratos y productos. Estos agentes enzimáticos son producidos por bacterias, hongos, animales y humanos los cuales convierten la estructura semi - cristalina del polisacárido en formas amorfas atacando los enlaces 1- 4 y 1- 6, dividiendo la estructura en dextrinas de diferentes pesos moleculares como la glucosa y la maltosa (Tester, et. *al.* 2006). La mayoría de enzimas que catalizan las reacciones de hidrólisis del almidón son proteínas de tipo amilasa de la familia de las hidrolasas y cumplen con una función específica dentro del metabolismo. Estas están compuestas por cadenas de polipéptidos que poseen una selectividad catalítica en forma nativa (Bailey, 1995; Doble, 2004).

2.13.1 ENZIMAS HIDROLASAS.

Las enzimas hidrolasas controlan la hidrólisis del sustrato es decir la ruptura de este con la participación del agua siendo de vital importancia para la digestión (Gallegos, 2007).

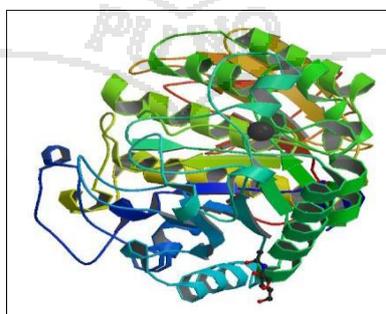
a. Alfa amilasas.

La alfa amilasa es una de las más importantes amilasas en la industria, esta se encuentra distribuida a lo largo del reino animal, microbiano y de las plantas. Comercialmente se producen

extracelularmente por medio de varios microorganismos como *Aspergillus niger*, *A. oryzae*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus lichemiformis*, *Bacillus stearotherophilus*, los cuales son fácil manipulables tanto en sus condiciones de cultivo como en sus características genéticas. Ofreciendo así una diversa serie de condiciones que le proporcionan a las enzimas características funcionales específicas como los rangos de pH y temperatura. (Sodhi, et. *al.* 2005).

Estas enzimas hidrolizan los enlaces α 1-4 de los α glucanos pero no pueden hidrolizar los enlaces α 1-6, atacando únicamente por su extremo no reductor, produciendo inicialmente dextrinas de un relativo alto peso molecular. Tras el avance de la reacción catalizada, el grado de polimerización de las dextrinas decrece gradualmente hasta alcanzar cadenas de maltosa, maltotriosa, glucosa y oligosacáridos que todavía contienen enlaces α 1-6, esta reducción del polisacárido, se expresa físicamente en la pérdida de viscosidad, a la α -amilasa (Figura 4.), se le designa como enzima licuante ya que al hidrolizar los enlaces químicos del almidón en una forma al azar, reduciendo rápidamente la viscosidad de las dispersiones de este polímero, el producto de esta hidrólisis son dextrinas, maltosa y glucosa, por lo que el poder reductor de las dispersiones de almidón aumenta considerablemente.

Fig.4. Enzima amilolítica (alfa amilasa)

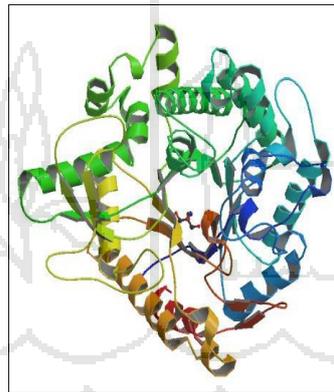


Fuente: Siddiqui, et. *al.* (2009).

b. Glucoamilasa.

Descubierta en 1950, esta amilasa producida por un hongo fue la tercera enzima amilolítica descubierta después de α y la β amilasa. Esta fue nombrada glucoamilasa (Figura 5), y es conocida como γ amilasa o amiloglucosidasa, la cual cataliza la hidrólisis sucesiva de los enlaces α 1-4 de los glucanos finales no reducidos, lo que produce la β -D- glucosa como un producto de la hidrólisis lo que indica que es una enzima de tipo invertida que presenta una exo-acción. Este tipo de enzima también hidroliza los enlaces α 1-6 a un ritmo menor, sin embargo la gran ventaja que tiene frente a sus homologas es la de tener la capacidad de transformar el almidón a glucosa. (Castillo, 2002).

Fig.5. Enzima amilolítica (Glucoamilasa)



Fuente: Castillo (2002)

2.13.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ENZIMAS HIDROLASAS.

Algunas enzimas son proteínas simples por lo que en su hidrólisis únicamente se obtienen aminoácidos; otras son proteínas conjugadas que contienen un grupo no proteínico al cual se le denomina grupo prostético. (Carell, 1990).

Las características sobresalientes que tienen las enzimas son las siguientes:

a. Poder catalítico.

Para ser eficaces los catalizadores tienen que reaccionar como una de las sustancias reaccionante, teniendo las siguientes características:

- ✓ Ser eficaces en pequeñas cantidades.
- ✓ No se alteran durante la reacción.
- ✓ Cuando se encuentran en pequeñas cantidades con respecto al sustrato el catalizador ideal, no afecta el equilibrio de una reacción química reversible y su función es acelerar el proceso en ambas direcciones.
- ✓ Tienen la capacidad para acelerar las reacciones químicas específicas.

b. Especificidad.

Una de las propiedades más características de las enzimas es un alto grado de especificidad la mayor parte de enzimas presenta una especificidad de reacción absoluta, esto es, que catalizan un determinado tipo de reacción, sin embargo, algunas enzimas son capaces de catalizar más de un tipo de reacción por ejemplo:

- ✓ Enzimas que actúan sobre cierto número de compuestos que poseen un determinado grupo químico.
- ✓ Enzimas que actúan de forma asimétrica sobre un sustrato cinético para originar un producto cinético.

c. Centros activos.

Las enzimas tienen un centro activo, es decir una región relativamente pequeña de la superficie enzimática donde realmente sucede catálisis. El sitio activo se compone del centro catalítico y del centro de enlace. El primero es responsable de la naturaleza química de la reacción catalizada y el segundo, responde de la afinidad del sustrato. (Fox y Cameron, 1995).

d. Desactivación de enzimas.- Las enzimas pueden ser fácilmente desnaturalizadas por varios medios, el más utilizado es el calor, que se utiliza ampliamente en la industria alimentaria. La mayoría de las enzimas son termolábiles, por lo que basta aplicar una temperatura de 70°C a 80°C durante 2 - 5 minutos para destruir su actividad (Fox & Cameron, 1995).

e. Catálisis enzimática.

La catálisis puede llevarse a cabo mediante un mecanismo de reacción que pasa por un estado de transición convencional intermedio representa el estado de transición de la reacción química, rápidamente se rompe para dar lugar a productos estables, y las enzimas, sin sufrir cambios por la reacción, son capaces de seguir catalizando a nuevas moléculas. (Maldonado & López, 1997).

2.14 FASES DE LA REACCIÓN ENZIMÁTICA

a. Primera fase.

Se realiza la unión (no covalente) del sustrato a la enzima para formar lo que se llama el complejo enzima sustrato, y este se puede dissociar para devolver sustrato libre y enzima por la que se convierte en una reacción de equilibrio.



b. Segunda fase.

Todos los reactantes incluyendo las moléculas enzima están en equilibrio dinámico y se alcanza la actividad enzimática máxima.

c. Tercera fase.

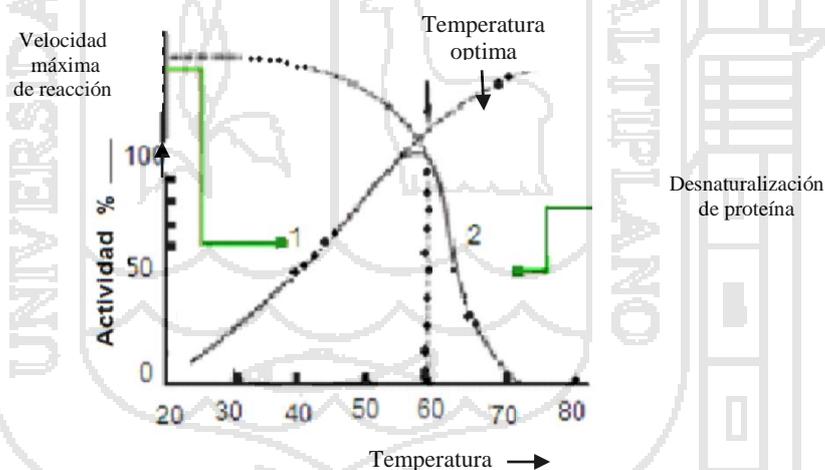
La concentración de sustrato disminuye apreciablemente, a consecuencia la velocidad de reacción catalizada por la enzima decae asintóticamente. Esta fase sucede especialmente cuando se produce la

inhibición por el producto; hecho muy probable cuando se emplean concentraciones altas del sustrato en la reacción a la concentración de enzima. Sucede lo contrario cuando es mayor la concentración de enzimas con respecto al sustrato disponible disminuyendo la velocidad y tasa de reacción catalizada por la enzima produciéndose la inhibición enzimática. (Maldonado & López, 1997).

2.15. FACTORES QUE AFECTAN LA ACTIVIDAD CATALÍTICA.

Las reacciones enzimáticas catalíticas obtienen las condiciones óptimas de reacción al encontrar la temperatura más adecuada (Figura 6), para llevar a cabo la reacción. La existencia de una dependencia directa entre el incremento termodinámico y la tasa de reacción hasta cierto punto donde la enzima es desnaturalizada. La temperatura óptima de reacción es dependiente del tipo de enzima y proceso que se pretende utilizar. (Aehle, 2004).

Fig.6. Temperatura óptima de actividad enzimática



Fuente: Aehle (2004).

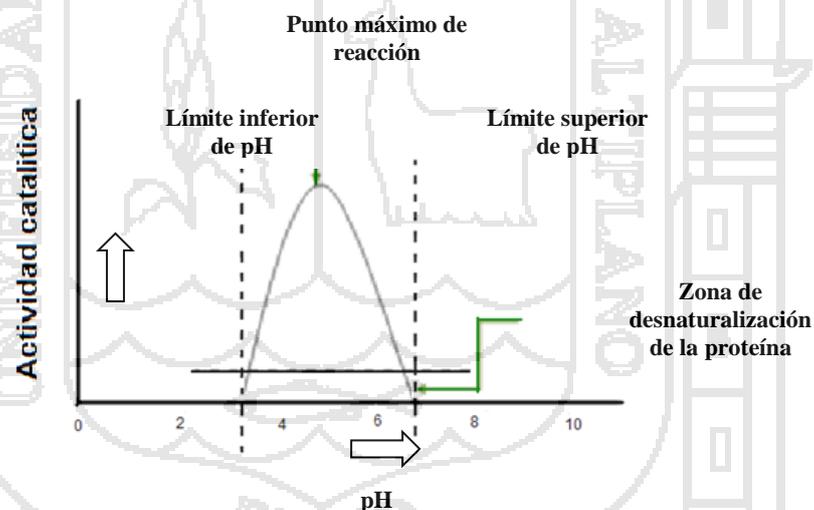
Mera, *et al.* (2003), reporta que la enzima α -amilasa, durante la hidrólisis enzimática de yuca (*Manihot esculenta*) logra su mayor actividad enzimática a una temperatura cercana a 70°C, por encima de 70°C la actividad disminuye.

a. pH.

Todas las enzimas tienen un pH óptimo de actividad el cual se encuentra entre un valor mínimo y máximo (Figura 7), y es altamente dependiente de la temperatura, el sustrato y la concentración de enzimas. El pH es una función logarítmica que representa el cambio de 10 unidades de hidrógeno por cada unidad de pH lo que significa que un pequeño cambio puede ocasionar la desnaturalización de la proteína. (Aehle, 2004).

El pH óptimo reportado por Calcaneo (1981), para alfa amilasa es de un pH 6 a 60°C y 7 a una temperatura mayor, es decir su pH depende de la temperatura. La glucoamilasa trabaja óptimamente a un pH de 4 a 4.5 a una temperatura de 60°C (Castillo, 2002). En temperaturas altas y tiempos prolongados, pueden favorecer la polimerización de glucosa (producción de azúcares no convenientes en el producto final. (Piñero, 2006).

Fig.7. pH óptima de actividad enzimática



Fuente: Aehle (2004).

b. Inhibición.

Los mecanismos de acción de muchas sustancias tóxicas y antídotos han sido un factor determinante en la actividad de la enzima, ya que estos afectan los mecanismos de reacción y en algunos casos o la estructura de la enzima. Existen dos tipos de inhibición, el primero consiste en la

inhibición irreversible en la cual los componentes tóxicos forman componentes estables con la enzima al crear enlaces covalentes con los aminoácidos residuales del sitio activo. Por su parte las inhibiciones reversibles se caracterizan por generar un estado de equilibrio entre la enzima y el inhibidor. Algunas clases de inhibidores son:

✓ **Inhibidores competitivos.**

Se relaciona con el sustrato o con otra enzima por los enlaces que se presentan con el centro activo, por la formación de un complejo enzima – inhibidor.

✓ **Inhibidores no competitivos.**

Se presentan por el decrecimiento de la actividad catalítica de la enzima cuando existe una influencia externa en la relación sustrato enzima.

c. Concentración de enzima.

También la reacción enzimática depende de la concentración del enzima. Mientras que el sustrato se encuentre en exceso; la velocidad de reacción es directamente proporcional a la concentración de la enzima.

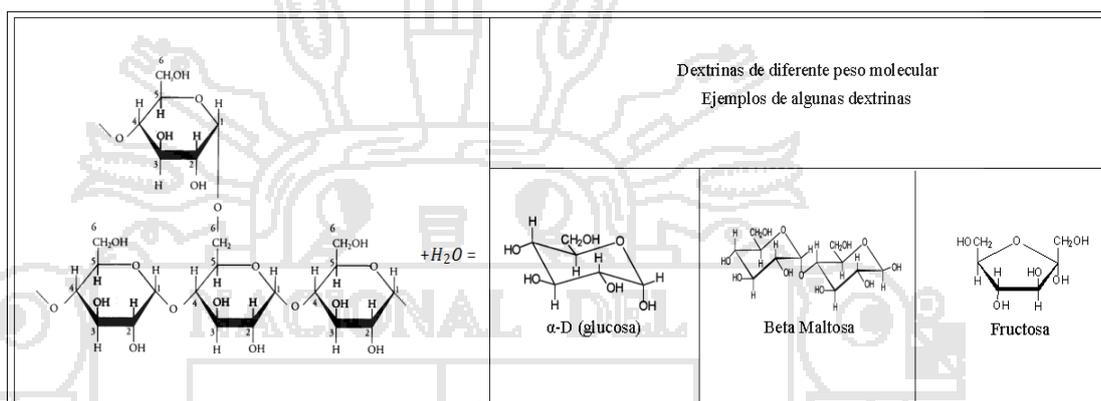
d. Concentración de sustrato.

La cantidad de sustrato utilizado para la reacción catalizada enzimáticamente afecta la naturaleza de la relación enzima-sustrato, afectando las funciones estructurales que los relacionan y confieren las características de selectividad ocasionando una inestabilidad de la enzima. (Aehle, 2004).

2.16. HIDRÓLISIS DEL ALMIDÓN.

Son procesos que involucran de polimerización parcial o arreglos de moléculas. Estos incluyen procesos hidrolíticos, oxidativos y térmicos, los cuales producen tres clases de almidones modificados: de conversión ácida, oxidados y dextrinas. Las posibilidades van desde la hidrólisis parcial hasta la total. (Bugg, 2004). Como se observa en la fig. 8.

Fig. 8. Hidrólisis de almidón



Fuente: Bugg (2004).

2.17 ETAPAS DE LA HIDRÓLISIS DEL ALMIDÓN

Durante el proceso de obtención de jarabe de glucosa se involucran dos etapas enzimáticas la etapa de licuefacción del almidón mediante la enzima α -amilasa y la sacarificación, en donde se utiliza la glucoamilasa. (Horcasitas & Mangaña, 2002).

2.17.1 LICUEFACCIÓN.

La licuefacción o dextrinización, es el proceso mediante el cual a partir de un almidón gelatinizado se obtiene una rápida disminución de la viscosidad en virtud de una hidrólisis parcial. En esta etapa se producen polisacáridos de longitud intermedia (maltodextrinas con 5 a 10 unidades de glucosa) y pequeñas cantidades de polisacáridos de alto peso molecular como también algunos de bajo peso molecular (glucosa, maltosa entre otros). (Cruz, 2012).

Para realizar la licuefacción, el almidón es dispersada en agua a concentraciones (hasta un 45%) y sometido a un tratamiento de baño maría para realizar la gelatinización a una temperatura de acuerdo a la fuente de almidón de que se trate. Seguidamente, se adiciona la enzima α -amilasa para la dextrinización del almidón. La licuefacción generalmente se lleva a cabo con agitación a temperaturas menores a 95°C durante un periodo de 90 a 120 minutos. Finalmente, se realiza la desactivación enzimática a un pH 4.3 y una centrifugación para separar el almidón no hidrolizado. (Gorosquieta, 2003; Chica, 1996).

a. Maltodextrinas:

Las maltodextrinas son una mezcla de oligosacáridos constituidos por D- glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -1,4. Obtenidas a partir de la hidrólisis controlada del almidón, mediante la utilización de ácidos o enzimas, determinadas en base a su contenido de azúcares reductores directos, expresado en dextrosa equivalente (DE). Las cuales contienen un porcentaje en DE entre 13-28%. (García, 1998).

En Tabla 6, se observa las condiciones de hidrólisis enzimática realizada en la etapa de licuefacción para obtener maltodextrinas con valores expresados en porcentaje DE, obtenidas en algunas investigaciones realizadas.

Tabla 6. Condiciones para la obtención de Maltodextrinas.

Investigador	Condiciones de Hidrólisis Enzimática					
	Origen de almidón	Sustrato (p/v)	Enzima	Tiempo (min)	T(°C)	DE (%)
Calixto & Arnao, 2004	Kiwicha	20 %	α -amilasa	90	80	29
Aguilar, 2008	plátano	8.5 a 12.5 %	α -amilasa	65 a 180	70	19.07-25.54
Delgado, et. al. 2009	papa	35 %	α -amilasa	120 a 240	60 a 95	9 a 15
Jiménez, et. al. 2007	Maíz	20 a 35 %	α -amilasa	120 a 245	93	9 a 15
Estrada, et. al. 2009	Malanga	350g/l	α -amilasa	10 a 70	95	17.5
Caypo & Pérez, 2007	Arracacha	30 %	α -amilasa	40 a 60	65	10

- ✓ **Usos de las maltodextrinas:** Las maltodextrinas tienen aplicaciones como encapsulante y como acarreador de sabores en gelatinas y bebidas instantáneas, mejorador de la consistencia en aderezos, controla la formación de cristales en la industria de los helados, así como para bajar el punto de congelación en salmueras. Además, las maltodextrinas se emplean como sustitutos de grasas y aceites, ya que pueden reemplazar a estos componentes hasta en un 50 % en productos tales como galletas o pulpas preparadas (Dokic, et. al. 2004).

b. Dextrosa Equivalente (DE)

El término dextrosa equivalente se define como el porcentaje de azúcares reductores expresado como dextrosa respecto al total de sólidos o peso seco de jarabe. Para poder entender la transformación de almidón, el concepto de (DE) es importante, ya que expresa porcentualmente los enlaces glucosídicos que se han hidrolizado; midiendo el poder reductor de la glucosa dividido entre el total de carbohidratos. Un producto con un valor de 20% en DE, significa que 100 partes del mismo pueden reducir la misma cantidad de Cu^{++} en

una solución Fehling a Cu^+ como 20 partes de D- glucosa pura. (Bernal, 2004).

Un almidón no hidrolizado tiene un DE virtualmente igual a cero, mientras que el DE. de la D- glucosa anhidra es igual a 100. (García, 1993).

c. Identificación de Azúcares reductores por el ensayo de Fehling.

Los azúcares reductores son aquellos azúcares que poseen su grupo carbonilo, que a través del mismo pueden reaccionar con otras moléculas. Los azúcares pueden ser monosacáridos, disacáridos, trisacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Los monosacáridos reaccionan de acuerdo a los grupos hidroxilo y carbonilo que poseen. Los disacáridos y los polisacáridos, se pueden hidrolizar para producir monosacáridos. Los azúcares que dan resultados positivos con las soluciones de Tollens, Benedict ó Fehling (métodos para determinar azúcares reductores) se conocen como azúcares reductores, y todos los carbohidratos que contienen un grupo hemiacetal o hemicetal dan pruebas positivas. Los carbohidratos que solo contienen grupos acetal ó cetal no dan pruebas positivas con estas soluciones y se llaman azúcares no reductores. (Bustos, et. *al.* 2010).

d. Reacción de Fehling.

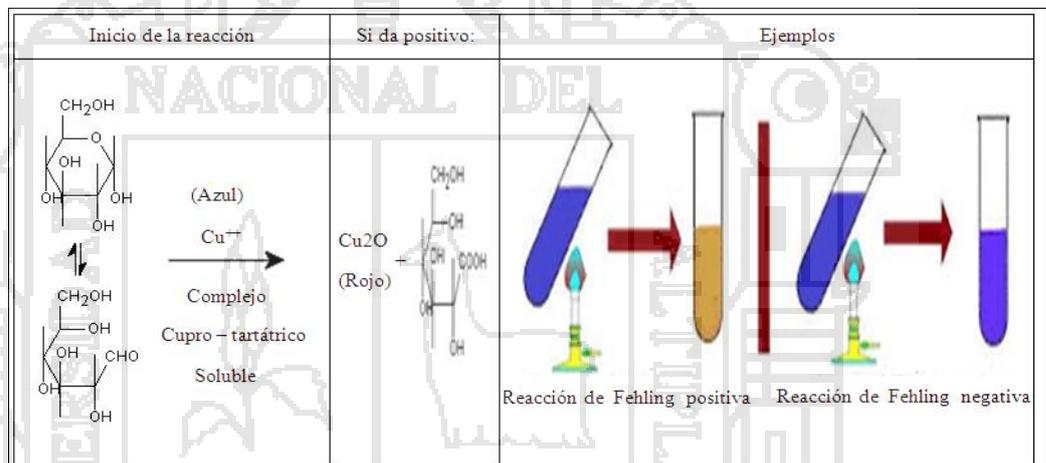
La reacción de Fehling, se utiliza para el reconocimiento de azúcares reductores. El poder reductor que pueden presentar los azúcares, proviene de su grupo carbonilo, que puede ser oxidado a grupo carboxilo con agentes oxidantes. Si el grupo carbonilo se encuentra combinado no puede presentar este poder reductor.

El reactivo de fehling está formado por dos soluciones llamadas A y B. La primera es una solución de sulfato cúprico; la segunda, de hidróxido de sodio y una sal orgánica llamada tartrato de sodio y

potasio (sal de Seignette) Sulfato de cobre cristalizado. (Bustos, et. al. 2010).

El ensayo con el reactivo de Fehling se funda en el poder reductor del grupo carbonilo de un aldehído. Este se oxida a ácido y reduce la sal de cobre (II) en medio alcalino a óxido de cobre (I), que forma un precipitado de color rojo. Un aspecto importante de esta reacción es que la forma aldehído puede detectarse fácilmente aunque exista en pequeña cantidad. Si un azúcar reduce el reactivo de Fehling a óxido de cobre (I) rojo, se dice que es un azúcar reductor

Fig. 9. Reacción de Fehling



Fuente: Bustos, et. al. (2010).

2.17.2 SACARIFICACIÓN.

Consiste en sacarificar las maltodextrinas, para completar la hidrólisis del almidón a jarabe de glucosa. En la digestibilidad de almidones como materia prima, muchos factores como el tamaño de partículas, relación de amilosa/amilopectina, extensión de la asociación molecular entre los componentes del almidón, grado de cristalinidad, longitud de la cadena de amilosa y presencia de complejos lípidos-amilosa, juegan un papel importante en la degradación hidrolítica (Cruz, 2012).

Esta etapa se efectúa utilizando la enzima amiloglicosidasa (AMG), a una temperatura de 60° C, con un pH de 4 - 4.5. Posteriormente, se adiciona la enzima. Al término de la hidrólisis, el jarabe es purificado mediante filtración y tratamiento con carbón activado. Posteriormente se evapora la solución para finalmente cristalizar la glucosa. (Gorosquieta, 2003; Chica 1996).

2.18 CARACTERÍSTICAS DEL JARABE DE GLUCOSA.

Las características típicas de calidad recomendados para jarabe de glucosa utilizado en la industria alimentaria. Se indica en la tabla 7.

Tabla 7. Características típicas de jarabe de glucosa obtenido mediante hidrólisis Enzimática del almidón.

Características	Estándar recomendado
Materia seca	> 70 %
Humedad	< 30 %
pH*	4 - 5
Densidad *(g/ml)	1.12
Color(UDO)	0.125

*: valores recomendados para jarabes comerciales.

Fuente: (Bello, et. al. 2002; Pancoast & Junk, 1980).

La calidad de los jarabes de glucosa se determina por el factor D.E., el cual indica el porcentaje de azúcar reductor que se encuentra en la materia seca de cada tipo de jarabe de glucosa (Bernal, 2004). El jarabe de glucosa se clasifica de la siguiente forma por su valor de DE:

- DE: 20-38 % de baja conversión
- DE: 39-43 % de conversión normal
- DE: 44-58 % de conversión media
- DE: 59-67 % de conversión alta
- DE: 68% o más, de conversión extrema

Los jarabes con porcentaje de 39 a 43% en dextrosa equivalente, son los más utilizados en el mercado por ser económicos y de excelentes características fisicoquímicas y bacteriológicas. (Bernal, 2004).

2.18.1 COLOR DEL JARABE DE GLUCOSA.

En la actualidad con el fin de clasificar el jarabe, se utiliza un espectrofotómetro que contiene una célula óptica, la cual permite saber con precisión el porcentaje de luz transmitida por el jarabe. Dicho aparato sirve para confirmar la clasificación del jarabe antes del envasado. Sin embargo, los colorímetros manuales son aún muy utilizados por muchos productores.

En el jarabe de glucosa, mientras más claro es el jarabe puro, mejor es su calidad. A medida que sea más oscuro, su sabor será más cercano al azúcar caramelizado y se alejará cada vez más del refinado sabor. (Pancoast & Junk, 1980).

2.18.2 VISCOSIDAD.

La viscosidad de un fluido puede describirse como su resistencia al flujo o al movimiento. Se dice que el agua, que se agita más fácilmente que el jarabe, posee la viscosidad más baja. Sin embargo, Chávez (2002) reporta una viscosidad de alta para el jarabe comercial de maíz que se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Viscosidad del JMAF y de otros Edulcorantes

Producto	Centipoises
JMAF ^b	150
Azúcar invertida	130-150
Jarabe de glucosa	500

Fuente. Chávez (2002),

La Unidad de viscosidad en el SI [Pa.s]. La viscosidad se puede definir como una medida de la resistencia a la deformación del fluido. Este concepto relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación. Dicho concepto se introdujo anteriormente en la Ley de Newton, que relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación (gradiente de velocidad), (Ramírez, 2006)

$$\tau = \mu * \gamma \quad (3)$$

Dónde:

- τ : esfuerzo cortante[mPa]
- μ : viscosidad [mPa.s]
- γ : velocidad de deformación [s-1] [También se denomina D como velocidad de cizalla].

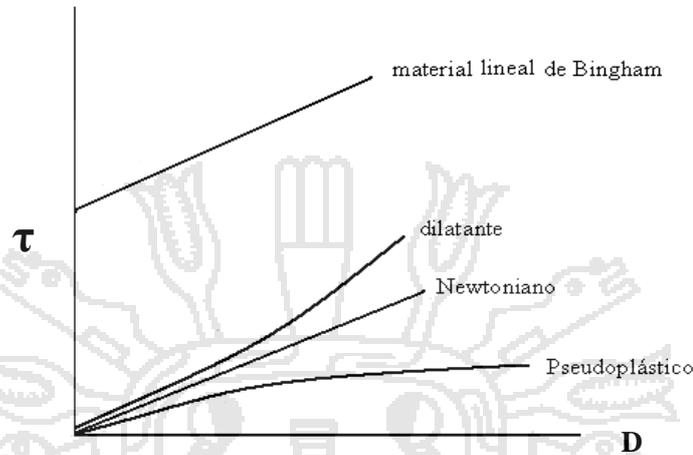
Sin embargo, existen muchos materiales industrialmente importantes que no siguen este comportamiento y a los cuales se les conoce como fluidos no-newtoniano. El tema de los fluidos no-newtonianos constituye actualmente una parte de otra ciencia más amplia que es la reología, es decir, “la ciencia de flujo y la deformación”, que estudia las propiedades mecánicas de los gases, líquidos, plásticos, etc. Por lo tanto, el campo de reología se extiende, desde la mecánica de fluidos no- newtonianos, hasta la elasticidad de Hooke. (Ramírez, 2006).

Una primera clasificación de los fluidos no newtonianos los divide en tres categorías:

- ✓ Comportamiento independiente del tiempo.
- ✓ Comportamiento dependiente del tiempo.
- ✓ Visco elástico.

- a. **El Comportamiento independiente del tiempo.** El esfuerzo de corte solo depende de la velocidad de corte γ .

Fig. 10. Comportamiento de fluidos no newtonianos



Fuente: Gonzales (2009).

Se conocen varios modelos reológicos para representar estos fluidos, entre ellos al Modelos de Ostwald de Waele ó Ley de la Potencia.

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n = K \left| \dot{\gamma} \right|^{n-1} \cdot \dot{\gamma}$$

(4)

Donde K y n son parámetros empíricos, K es el índice de consistencia y n es el índice e comportamiento de flujo. El término entre corchetes se denomina “viscosidad aparente” y es evidente que no es constante, dependiendo directamente de la velocidad de corte γ .

Debido a que “ n ” determina precisamente el modo en que se desarrolla el flujo, si $n < 1$ el fluido se denomina pseudoplástico, estos fluidos fluyen más fácilmente aumentando la velocidad de deformación. Por el contrario, cuando $n > 1$ la resistencia a fluir aumenta con un aumento de la velocidad de corte, y el fluido se denomina dilatante.

- b. La viscosidad aparente.** Se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Este término es el que se utiliza al hablar de “viscosidad” para fluidos no newtonianos, la viscosidad aparente disminuye con el esfuerzo cortante. (García, 2009).
- c. Los viscosímetros rotacionales.** son útiles en un amplio intervalo de viscosidades y particularmente valiosos para la determinación de viscosidad en fluidos no newtonianos. Entre ellos está el viscosímetro Brookfield, además de otros viscosímetros como de cono y plato, plato y plato, cilindros concéntricos o de capilares. (Méndez-Sánchez, et. al., 2010).
- ✓ **Viscosímetro brookfiel:** El viscosímetro de Brookfield, es un instrumento que permite la determinación de la viscosidad de un líquido, en base a la medición de la resistencia que este opone al movimiento de un rotor accionado por un motor eléctrico. Esa resistencia ocasiona la torsión de un resorte de berilio y de cobre, la cual es transmitida a un indicador, que a su vez se desplaza sobre una escala especial graduada de 0 a 100. El instrumento está provisto de 7 diferentes rotores (discos o cilindros) cada uno de los cuales puede girar en la muestra a ocho velocidades distintas comprendidas entre 0.5 y 100 revoluciones por minuto. La resistencia a la rotación es proporcional a la viscosidad del líquido y al tamaño y velocidad del rotor. Por ello, para determinaciones en líquidos de baja viscosidad, deben utilizarse los rotores de mayor tamaño y a las mayores velocidades, mientras que, para líquidos de gran viscosidad, deben emplearse los rotores pequeños a velocidades bajas. En todo caso, es conveniente utilizar un rotor y una velocidad tal, que permitan obtener lecturas, en base a la lectura de la escala del rotor y la velocidad del mismo (Ramírez, 2006).

2.19 APLICACIONES DEL JARABE DE GLUCOSA

Las numerosas aplicaciones de los jarabes de glucosa como ingredientes de los alimentos están relacionadas con DE. Los jarabes de menor DE. Son mas viscosos, menos apropiados para formar materiales coloreados debido a sus reacciones de oscurecimiento, menos dulces (menos que la dextrosa), menos higroscópicos y menos fermentables que los de mayor DE. Los alimentos en que los jarabes de glucosa (líquidos y secos) encuentran una extensa aplicación incluyen: confitería, conservas, postres, helados, bebidas alcohólicas y refrescos. (Kirk, et. *al.* 2002). Su función básica en la industria alimenticia es la de potenciar el sabor y endulzar al producto al que sea aplicado y, a diferencia del azúcar común, sólo proporciona un grado de dulzor del 40%.

2.19.1 Usos de la glucosa líquida en la industria alimentaria

Como se mencionó antes, la función básica de la glucosa líquida o jarabe de glucosa es la de endulzar. Sin embargo tiene otras aplicaciones y se utiliza en diferentes áreas, tales como:

- ✓ **Panadería:** la glucosa líquida tiene una función higroscópica, es decir, tiene la capacidad de absorber o ceder humedad. Se utiliza en las masas batidas y fermentadas como conservador.
- ✓ **Repostería:** el uso que tiene el jarabe de glucosa en este ramo de la industria alimentaria es como ingrediente de los adornos de azúcar o bombón en pasteles.
- ✓ **Elaboración de helados:** con la glucosa líquida o jarabe de glucosa se evita que los helados se cristalicen y se potencia su consistencia cremosa. También se utiliza como estabilizante en el proceso de producción de los helados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El jarabe de glucosa obtenido por medio de la hidrólisis enzimática del almidón de chuño y tunta, se realizó en el laboratorio de Microbiología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ubicada a 3820m.s.n.m., latitud 15°50'S, longitud 72°26'O.

3.1 MATERIALES.

3.1.1 Materia prima.

La materia prima utilizada fue: harina de chuño y tunta, de la variedad de papa amarga (*Solanum juzepczukii*), denominada locka; para obtener almidón, el cual se empleó en la obtención de jarabe de glucosa; estos productos fueron adquiridos del Instituto Nacional de Investigación Agraria- INIA - Estación Experimental Rinconada Salcedo – Puno.

3.1.2 Enzimas.

Se utilizaron dos enzimas de origen bacteriano: alfa amilasa, obtenido de *Bacillus Licheniformis* Liquozyme supra 2.2x, para el proceso de licuefacción y glucoamilasa de *Aspergillus niger* dextrozymega 1.5x, para la sacarificación; las cuales se conservaron en refrigeración a 5°C, tal como indica especificaciones del laboratorio. Ambas enzimas fueron adquiridas de la Empresa Química Suiza – Lima – Perú.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO.

3.2.1 PARA LA OBTENCION DEL ALMIDON DE CHUÑO Y TUNTA.

MATERIALES:

- Espátulas grandes de madera
- Espátulas de acero inoxidable
- baldes
- Telas filtrantes
- Placas Petri

- Morteros de porcelana con pilón
- Jarras de medida transparente
- Papel aluminio
- Tamizador

EQUIPOS:

- Balanza analítica electrónica, marca SARTORIUS, modelo CP323S, con precisión 0.0001g
- Centrifugadora Modelo CH90-2 , capacidad 4000 rpm
- Estufa al vacío

REACTIVOS:

- Hidróxido de sodio
- Agua destilada

3.2.2 PARA LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN.**MATERIALES:**

- Micropipeta de 5 - 100 μ L.
- Varillas de vidrio
- Vasos precipitados de 25ml, 250 ml.
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml, 500 ml.
- Olla mediana
- Cocina
- Envases de vidrio de capacidad de 20ml, 30 ml
- Pinzas metálicas
- Papel aluminio
- Termómetros de mercurio
- Espátula
- Bandejas
- Bidones
- Picetas
- Probetas de 100ml.

EQUIPOS:

- Balanza analítica electrónica, marca SARTORIUS, modelo CP323S, con precisión 0.0001g
- Horno esterilizador, marca ELECTRIC OVEN

- Medidor de PH , marca JENWAY, modelo 3540
- Refrigerador , marca Coldex, modelo
- Centrifugadora Modelo CH90-2 , capacidad 4000 rpm

REACTIVOS:

- Agua destilada
- Cloruro de calcio
- Ácido cítrico, marca Merck

**3.2.3 PARA LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD EN
MALTODEXTRINA Y JARABE DE GLUCOSA****MATERIALES:**

- Probeta de 100 ml
- Picetas
- matraz Erlenmeyer de 250 ml, 500 ml,
- Termómetros de mercurio

EQUIPOS:

- Balanza analítica electrónica, marca SARTORIUS, modelo CP323S
- Picnómetro de vidrio de 25ml

REACTIVOS:

- Etanol y Agua destilada

3.2.4 PARA LA DETERMINACION DE pH**MATERIALES:**

- Agua destilada
- vasos precipitados de 25 ml, 250 ml.
- Varillas de vidrio

EQUIPO:

- Medidor de PH , marca JENWAY, modelo 3540

3.2.5 PARA LA DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN MALTODEXTRINA Y JARABE DE GLUCOSA

MATERIALES:

- Termómetros de mercurio
- Placas Petri
- Desecador de vidrio
- Picetas
- Pinzas metálicas

EQUIPOS:

- Balanza analítica electrónica, marca SARTORIUS, modelo CP323S
- Estufa al vacío

REACTIVO:

- Deshidratante silica gel

3.2.6 PARA LA DETERMINACION DE DEXTROSA EQUIVALENTE EN MALTODEXTRINA Y JARABE DE GLUCOSA

MATERIALES:

- Matraz Erlenmeyer de 250 ml, 500 ml,
- Buretas graduadas de 50 ml
- Soporte universal
- vasos precipitados de 25 ml, 250 ml.
- Tubos de ensayo
- Gradillas para tubo de ensayo
- Pinzas
- Cocina eléctrica
- Malla de asbesto
- Probeta de 100 ml
- Espátula
- gotero

EQUIPOS:

- Balanza analítica electrónica, marca SARTORIUS, modelo CP323S

- Cronómetro
- Horno esterilizador, marca ELECTRIC OVEN

REACTIVOS:

- Solución Fehling A y Fehling B, marca BIOLABTEST®
- Agua destilada
- Azul de metileno, marca MERCK

ADITIVO:

- Glucosa anhidra (Merck)

3.2.7 PARA LA DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD EN JARABE DE GLUCOSA

MATERIALES:

- Probeta de 100 ml
- Pipetas volumétricas de 5 ml., 10 ml., 20 ml.

EQUIPOS:

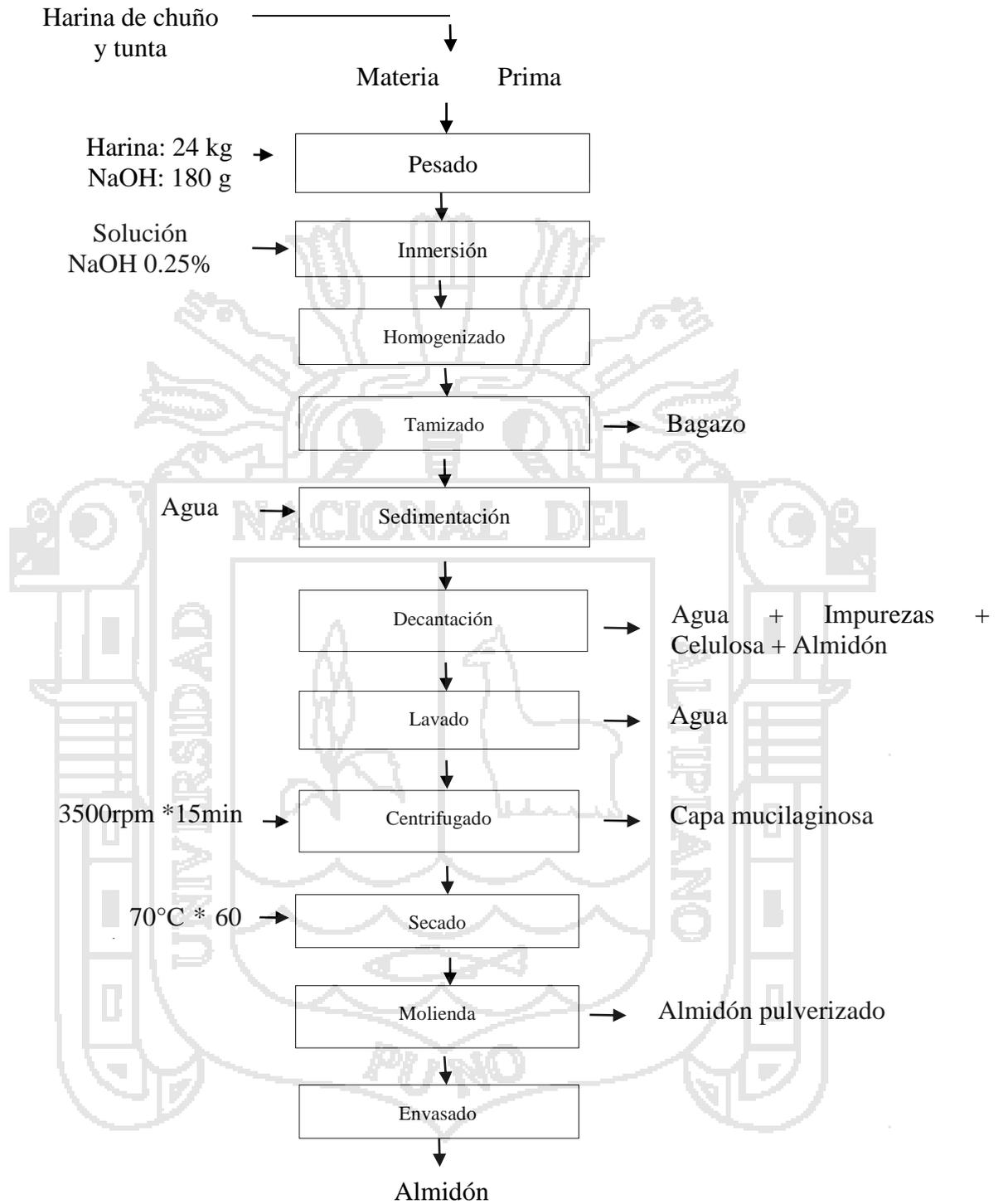
- Viscosímetro Brookfield modelo DV-II (Lámina 41)
- PC Compatible Pentium III.

3.3 METODOLOGÍA.

3.3.1 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE CHUÑO Y TUNTA.

Para la extracción del almidón de chuño y tunta se utilizó harina de chuño y tunta, aplicando el método de extracción empleado por Calixto & Arnao (2004), realizando algunas modificaciones según el equipo presente del laboratorio, mediante el procedimiento indicada en la figura 11.

Fig. 11. Diagrama de flujo para extracción de almidón de chuño y tunta



a. Pesado.

En esta operación se peso 24kg (12kg de harina de chuño y 12kg de tunta); con la ayuda de una balanza analítica.

b. Inmersión.

Se mezcló la harina de chuño y tunta con la solución de NaOH al 0.25% (p/v) para la extracción de almidón y solubilizar la proteína; todo ello se realizó a una temperatura ambiente en una relación de 1:3 (harina: solución).

c. Homogenizado.

La solución acuosa (harina mezclada con la solución NaOH 0.25%) se agitó manualmente durante 10 minutos. La muestra resultante se denomina homogenizado. El cual se dejó en maceración por 24 horas.

d. Tamizado.

Pasada las 24 horas; el homogenizado se filtró con una tela fina utilizada como tamiz, el cual permitió el paso de la lechada del almidón (agua, almidón, celulosa, compuestos ajenos al almidón, impurezas), a la que seguidamente se adicionó agua destilada para la sedimentación. Los sólidos remanentes en la tela (bagazo), fueron eliminados.

e. Sedimentación.

La suspensión de las lechadas de almidón obtenidas en la operación anterior; se dejaron reposar nuevamente durante 24 horas para permitir la separación de almidón del agua de inmersión y obtener mayor rendimiento de almidón.

f. Decantación.

Al completar la sedimentación se procedió a decantar cuidadosamente el agua sobrenadante, la cual contiene impurezas, partículas de fibra o celulosa y algunos gránulos de almidón. Luego, el almidón obtenido es sometido a un lavado con agua destilada para eliminar la mayor cantidad de impurezas.

g. Lavado.

Esta operación se realiza para obtener almidón con un color adecuado, con agua destilada repitiendo esta operación 3 veces, entre lavado y lavado se realizó el filtrado.

h. Centrifugado.

El filtrado obtenido se centrifugó a 3500 rpm por 15 minutos para eliminar el agua utilizada en el lavado y la capa mucilaginoso. Seguidamente, el almidón precipitado se repartió en placas Petri, para realizar el proceso de secado.

i. Secado.

Obtenido el almidón húmedo, se procedió a realizar el secado en un horno convencional a 50 °C por 12 horas.

j. Molienda:

El almidón seco se procedió a pulverizar con la ayuda de un mortero, hasta obtener almidón con gránulos finos. El cual, se tamizó utilizando un cernidor como tamiz para obtener el almidón.

k. Envasado:

Los almidones obtenidos fueron pesados y envasados en bolsas de polietileno de alta densidad y sellado hasta su posterior uso.

3.3.2 ANÁLISIS REALIZADOS SOBRE EL ALMIDON.**3.3.2.1 Contenido de Amilosa y Amilopectina.**

El contenido de amilosa, fue determinado por espectrofotometría, aplicando el método yodo -colorimétrico. El contenido de amilopectina fue calculado por diferencia, los cuales se detallan en el Anexo 2.

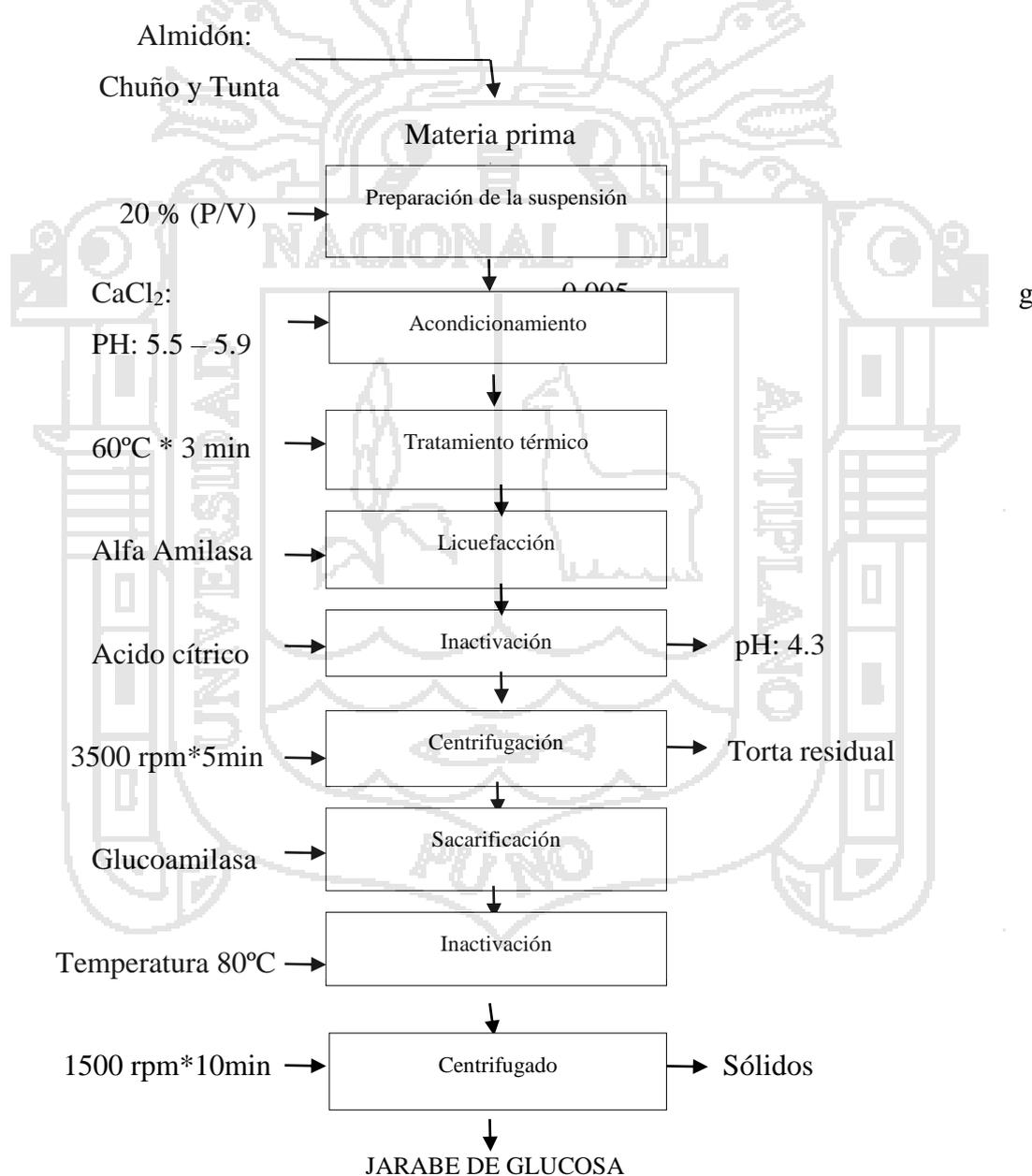
3.3.2.2 Análisis fisicoquímico proximal.

Para el análisis fisicoquímico del almidón, se determinó de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas INDECOPI (Anexo 3).

3.3.3 HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE CHUÑO Y TUNTA

Para desarrollar la hidrólisis de almidón, diversas fuentes bibliográficas (Chica, 1996; Calixto & Arnao, 2004), y el laboratorio Novozymes, los cuales recomiendan el proceso de obtención de jarabe de glucosa por vía enzimática en dos etapas (licuefacción y sacarificación); con base en esa información se tomó el siguiente procedimiento. (Figura.12).

Fig. 12. Diagrama de flujo para la obtención de jarabe de glucosa del almidón de chuño y tunta.



A continuación se detallan las operaciones realizadas para la hidrólisis enzimática del almidón.

a. Almidón.

Se utilizó 25g de almidón de chuño y 25g de almidón de tunta; siendo estos punto de partida para realizar el proceso de hidrolisis enzimática.

b. Preparación del sustrato.

En un matraz Erlenmeyer de 250ml, se preparó una suspensión de almidón de chuño y tunta con 125 ml de agua destilada al 20% (p/v), por separado.

c. Acondicionamiento.

Se agregó 0.005gr de cloruro de calcio (CaCl_2) a la suspensión preparada, para activar la enzima. Luego se agito hasta lograr la mezcla y dilución del almidón.

d. Tratamiento térmico.

La mezcla obtenida fue sometida a un tratamiento térmico en baño maría a temperatura de ebullición, agitando la mezcla constantemente hasta lograr la gelatinización del almidón; para obtener un sustrato susceptible a la catálisis enzimática.

e. Licuefacción.

Una vez realizado el tratamiento térmico, se adicionó la enzima α -amilasa, con la ayuda de un micro pipeta. Paralelamente se agitó con una varilla para la distribución uniforme del mismo, para posteriormente controlar el tiempo y temperatura en cada tratamiento.

f. Inactivación.

Una vez concluido el tiempo de reacción deseada según en el tratamiento; la reacción fue detenida mediante la inactivación de la enzima α -amilasa a un pH de 4.3 con la adición de ácido cítrico, al 10 % manteniendo esta

condición durante 60 segundos y posterior enfriamiento con agua a temperatura ambiente.

g. **Centrifugación.**

Después de la inactivación enzimática, cada pre-hidrolizado, obtenido fue centrifugado a 3500 rpm durante 5 minutos y se recuperó el sobrenadante correspondiente a las maltodextrinas mismos que fueron llevados a refrigeración para su posterior análisis.

h. **Análisis.**

Los parámetros analizados en las maltodextrinas obtenidas fueron: densidad, humedad y dextrosa equivalente (Apéndice 10). Los cuales, fueron determinados mediante el procedimiento que se detalla en los numerales 3.4.1, 3.4.3 y 3.4.4.

i. **Sacarificación.**

Se realizó, colocando las maltodextrinas obtenidas en la etapa de licuefacción en un vaso precipitado de 250ml en baño maría a 70°C. Seguidamente, se adicionó la enzima glucoamilasa en el vaso de acuerdo a la cantidad requerida en las variables de estudio, controlando el tiempo de reacción y temperatura.

j. **Inactivación.**

Una vez cumplido el tiempo de reacción deseado se elevó la temperatura a 80°C, durante 15 minutos para inactivar la enzima glucoamilasa, seguidamente se enfrió a temperatura ambiente.

k. **Centrifugación.**

Después de la inactivación de la enzima, cada hidrolizado obtenido fue centrifugado a 3500 rpm por 15 minutos. Luego el líquido sobrenadante (jarabe de glucosa) se traspasó a un vaso precipitado.

Finalmente los jarabes de glucosa fueron envasados en botellas de vidrio, previamente esterilizadas y llevados a refrigeración a una temperatura de 5°C.

3.4 ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO EN LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA.

A los productos obtenidos (Jarabes de glucosa), se les realizó los siguientes análisis.

3.4.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.

La densidad de los jarabes de glucosa se determinó utilizando un picnómetro (Anexo 5); mediante el método de Serna & López (2010), realizando algunas modificaciones.

Primeramente se lavó cuidadosamente el picnómetro con etanol, seguidamente se enjuagó con agua destilada, se secó en una estufa y se dejó enfriar a temperatura ambiente. La parte externa del picnómetro se secó con papel absorbente insertando el tapón. Consecutivamente, el picnómetro se colocó en una balanza durante 30 minutos con el fin de obtener un pesado preciso. Luego se pesó (W1).

A continuación se llenó el picnómetro con agua destilada; teniendo cuidado de evitar la presencia de burbujas de aire, inmediatamente se procedió a colocar la tapa del picnómetro; para luego colocarlo en baño maría a 20°C durante 30 minutos; controlando la temperatura con un termómetro, terminado el tiempo deseado se retiró el picnómetro del baño, se secó con paño suave sin dejar pelusas y luego se pesó (W2). Finalmente, se vació el agua destilada del picnómetro; para posteriormente secarlo y llenarlo con jarabe de glucosa, para pesarlo (W3).

Con los pesos registrados se hicieron cálculos respectivos para la determinación de la densidad, haciendo uso de la siguiente ecuación propuesta por Atarés (2011).

$$\rho_{\text{muestra}} = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \rho_{\text{agua}} \text{ a } 14.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5)$$

Dónde:

W1 = Peso del picnómetro vacío

W2 = Peso del picnómetro vacío + agua

W3 = Peso del picnómetro vacío + muestra

3.4.2 DETERMINACIÓN DE PH.

Para la determinación de pH; se colocó los jarabes de glucosa en vasos precipitados de 25ml. Introduciendo el electrodo del potenciómetro Beckman (Anexo 6) para registrar la lectura directamente, con previa calibración del potenciómetro en soluciones amortiguadoras de pH 4 y 7. (Ruiz, 2005).

3.4.3 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.

Se determino por el método de estufa de vacío mediante el procedimiento registrado por Nielsen (2007), para la determinación de humedad en el jarabe de maíz, siendo este punto de referencia para determinar la humedad en maltodextrinas y jarabes de glucosa de chuño y tunta con la finalidad de obtener % substancia seca.

Inicialmente se colocó las placas Petri dentro de una estufa (Anexo 7) a 60°C, durante 1 hora, para secarlas y enfriarlas a temperatura ambiente. Luego se procedió a pesar la placa más 7.5ml. de muestra húmeda de maltodextrina y/o jarabe; siendo este el peso inicial (M1); para luego poner la placa con su contenido en una estufa a 70 °C durante 12 horas. Terminado ese tiempo se sacaron las placas con la muestra de la estufa para enfriarlas en un desecador (Anexo 8). Una vez enfriada se procedieron a pesar en una balanza anotando el peso final de la muestra (W2). El porcentaje de humedad se obtuvo mediante la siguiente ecuación propuesta por Serna & López (2010).

$$\text{Porcentaje de Humedad} = \frac{M_1 - M_2}{M} * 100 \quad (6)$$

Dónde:

M = Masa de la muestra húmeda, en gramos.

M1 = Masa de la placa con la muestra húmeda, en gramos.

M2 = Masa de la placa con muestra seca, en gramos

% substancia seca = 100% - % humedad.

3.4.4 DETERMINACIÓN DE LA DEXTROSA EQUIVALENTE.

3.4.4.1 Determinación de azúcares reductores por titulación Fehling.

La determinación de azúcares reductores se realizó utilizando el método volumétrico de Lane y Eynon. (Pancoast y Junk, 1980). Para lo cual se preparó dos soluciones de muestra para cargar en dos buretas; en la primera solución se utilizó la dextrosa anhidra y la segunda solución se preparó con maltodextrinas y jarabes, en mención a la titulación a realizar.

Primera solución: Se disolvió dextrosa anhidra al 1% (p/v), para utilizar en la primera titulación determinando así el primer gasto el cual es punto esencial para determinar el factor Fehling.

Segunda solución: Se extrajo 7,5 ml de maltodextrina y/o jarabe, para diluirlo en 250ml de agua destilada y cargar a la bureta. Con la finalidad de evaluar los gastos para determinar los azúcares reductores y la dextrosa equivalente.

3.4.4.2 Valoración de la muestra con solución Fehling

Se trasladó con una pipeta, 1,25 ml del líquido Fehling A y 1,25 ml de Fehling B, (Anexo 9), a un matraz de 250 ml y se calentó hasta ebullición por 1 minuto para titular 1ml de la solución muestra (maltodextrina y/o jarabe), dejándolo a ebullición por 30 segundos, seguidamente se agregó 0,5 ml de la solución muestra, para someterlo a ebullición por 1,5 minutos; continuamente se le añadió 2 gotas de

azul de metileno al 1%, removiendo por 5 a 10 segundos para realizar la titulación gota a gota, verificando el cambio de color azulino a un color ladrillo rojizo formándose un líquido sobrenadante e incolor (Anexo 10). El cual indica el fin de la titulación, posteriormente se registro el gasto respectivo en cada muestra valorada con la finalidad de determinar el % de azúcares reductores para así obtener dextrosa equivalente DE.

Entre el comienzo de la ebullición y la terminación de la valoración no deben transcurrir más de 3min, además se debe mantener la ebullición durante la valoración con una constante agitación.

3.4.4.3 CÁLCULOS.

a. **Calculo del factor de Fehling.**

El factor Fehling, se calcula multiplicando los gastados (ml) en la primera titulación por la concentración de dextrosa pura.

Factor de Fehling = ml gastados en la primera titulación * 0.01 = concentración de dextrosa pura (C₆H₁₂O₆) expresada en g/ml.

b. **Calculo del porcentaje de dextrosa equivalente**

Terminado las valoraciones se procedió a determinar el porcentaje de dextrosa equivalente, utilizando las siguientes ecuaciones propuestas por Elguero (2000).

$$\% \text{ Azúcares reductores (AR)} = \frac{\text{Factor de fehling} * \text{volumen de aforo}}{\text{Masa muestra} * \text{ml del gasto}} * 100 \% \quad (7)$$

$$\% \text{ Dextrosa equivalente} = \frac{\% \text{ Azúcares reductores}}{\% \text{ Substancia seca}} * 100\% \quad (8)$$

Las ecuaciones 7 y 8; se utilizó para determinar el porcentaje de azúcares reductores y dextrosa equivalente en la maltodextrinas y jarabes de glucosa; los cuales se detallan en los apéndices 10 y 11.

3.4.5 DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD.

La determinación de la viscosidad se realizó utilizando el viscosímetro Brookfield DV-III, (Anexo 11). Tomando como referencia la técnica usada para determinar la viscosidad de un gel de almidón preparado por calentamiento indirecto es medida como una fuerza de torsión sobre una aguja rotante con temperatura y velocidad constante. (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Inicialmente se transfirió con una pipeta; 15 ml de jarabe de glucosa en el adaptador de la muestra del equipo, luego se introdujo la aguja N°5 del viscosímetro rotacional, con previa personalización del sistema de auto rango, se realizó la agitación de la muestra durante 10 segundos con la finalidad de homogenizar la muestra (jarabe de glucosa), a una temperatura de 14.5 °C, para así obtener las graficas esfuerzo de corte vs gradiente a una velocidad entre 0.5 a 100 revoluciones por minuto, terminado el proceso; se registraron las lecturas del equipo reportando la viscosidad en centipoise (cp), para cada muestra.

3.4.6 DETERMINACIÓN DE COLOR.

Se determinó de acuerdo al método espectrofotométrico reportado por Pancoast y Junk (1980), en un inicio se lleno una cubeta para espectrofotómetro con una solución al 0.02%(p/v) de dicromato de potasio y otra con la muestra de jarabe. Se ajusta el espectrofotómetro a 450nm y se calibra con agua destilada y con el dicromato de potasio a 100 y 54.5% de transmitancia, respectivamente; inmediatamente se lee la transmitancia de la muestra de jarabe. El espectrofotómetro se ajusta a 600nm, se calibra al 100% y se determina la transmitancia del jarabe a esta longitud de onda. El color de los jarabes usualmente se reporta en unidades de densidad óptica (UDO), mismas que se calculan con la siguiente fórmula:

$$UDO = \frac{\text{Log } T (600\text{nm}) - \text{Log } T (450\text{nm})}{\text{Espesor de la celda}} \quad (9)$$

Dónde:

T: es el logaritmo de la transmitancia.

No obstante, se ha establecido una clasificación subjetiva la cual relaciona las UDO con una escala de color indicada en la Tabla 9.

Tabla 9. Clasificación subjetiva de la DO*

UDO	Color visual
0.025	Agua
0.035	Paja muy ligero
0.050	Paja ligero
0.060	Paja
0.075	Paja amarillo muy ligero
0.10	Amarillo medio ligero
0.125	Amarillo ligero
0.150	Amarillo
0.200	Amarillo fuerte

DO*: Densidad óptica de los jarabes

Fuente: Guzmán (1992).

3.5. ANALISIS ESTADISTICO.

3.5.1 DETERMINACIÓN DE AMILOSA Y AMILOPECTINA.

Al término de las experiencias, se realizó un análisis por medio de las pruebas de hipótesis, a un nivel de significancia de 0.01, estableciéndose las hipótesis nulas y las hipótesis alternas para cada factor analizado. Se compararon los promedios de amilosa y amilopectina determinados por espectrofotometría en el almidón de chuño y tunta, con los promedios de amilosa y amilopectina del almidón químicamente puro (AQP). Esta comparación se realizó para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula en la investigación por medio del análisis en una vía (ANOVA) comparando la F_c con el F_t ; Al encontrar diferencias significativas entre los factores. Se aplicó la prueba de Tukey para analizar que tratamientos eran significativamente distintos y para determinar si el almidón de

chuño y tunta es más o menos adecuado para la hidrólisis enzimática en comparación al almidón químicamente puro en cuanto a los contenidos de amilosa y amilopectina. Este análisis se realizó por medio del programa estadístico Minitab 16.

- ✓ Nivel de significancia > 0.01 : se acepta la hipótesis nula.
- ✓ Nivel de significancia < 0.01 : se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.
- ✓ H_0 : No existe diferencia entre las medias de los tratamientos
- ✓ H_a : Existe diferencia entre las medias de los tratamientos

Cuadro 1. Estructura del diseño experimental de la determinación de amilosa/amilopectina.

Almidón	Repeticiones	Parámetros a evaluar
Chuño	3	Amilasa Amilopectina
Tunta	3	
AQP	3	

3.5.2 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE HIDRÓLISIS.

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la etapa de licuefacción y sacarificación de la hidrólisis enzimática del almidón de chuño y tunta se empleó el software estadístico Statgraphic Plus versión 5.0. En primera instancia se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el nivel de influencia o participación de las variables independientes sobre cada una de las variables respuestas en las etapas de licuefacción (Dextrosa equivalente en maltodextrina de chuño y tunta) y en las etapas de sacarificación (Dextrosa equivalente en jarabe de chuño y tunta) con un nivel de significancia del 1%, para determinar si existe diferencia significativa en los tratamientos es decir para probar el efecto de los factores y de sus interacciones en las respuestas.



La optimización de las variables en las etapas de licuefacción y sacarificación se realizó mediante el análisis de gráficos de contorno y de superficies de respuesta (Figuras 13 y 14). Los cuales se obtuvieron generando un diseño central compuesto rotatable con tres variables independientes (concentración E/S, tiempo de reacción y temperatura) en cada etapa; con sus respectivos niveles (Cuadro 2). En base a la revisión bibliografica (Chica, 1996; Calixto y Arnao, 2004); que se realizó y de las recomendaciones indicadas en la ficha tecnica del laboratorio de las enzimas (Novozyme), se detectó que las variables que generalmente influyen al sustrato durante el proceso de hidrólisis, son las variables independientes anteriormente mencionados, por ello se realizó el diseño con modificaciones en estas variables.

Se precisó el diseño central compuesto rotatable por que permite optimizar los factores, maximizando la cantidad de información que puede ser obtenida con un menor número de experimentos individuales, y además no requiere repeticiones (Myers,2002).

Cuadro 2. Variables independientes codificadas y naturales usadas para la generacion del diseño experimental rotatable.

Variables Independientes	Variable codificado					Variable natural									
						Licuefacción					Sacarificación				
	Niveles					Niveles									
	Minimo	Bajo	Medio	Alto	Maximo	Minimo	Bajo	Medio	Alto	Maximo	Minimo	Bajo	Medio	Alto	Maximo
E/S	- α	-1	0	1	+ α	0.033	0.04	0.05	0.06	0.067	0.06	0.08	0.11	0.14	0.16
Tiempo	- α	-1	0	1	+ α	82.95	100	125	150	167.1	26.6	30	35	40	43.4
Temperatura	- α	-1	0	1	+ α	56.59	60	65	70	73.41	44.8	50	57.5	65	70.1

El diseño central compuesto rotable, se conformó con una porción factorial constituida por $2^k=2^3 = 8$ tratamientos, que constituyen todas las combinaciones posibles en los dos niveles de las variables, una porción central está constituida por 6 repeticiones conformadas por el punto medio entre el nivel bajo y alto de cada variable de proceso, y una porción axial constituida por $2k = 2(3) = 6$ tratamientos axiales alejados a una distancia codificada $\alpha = (2^k)^{1/4} = (2^3)^{1/4} = \pm 1.682$ de la porción central del diseño, los cuales le confieren la característica de rotabilidad al mismo. Por lo anterior, el número de experimentos para cada experimento es 2^3+2*3 puntos axiales + 6 repeticiones al centro, para un total de 20 corridas (Cuadro 3). La relación entre las variables naturales y codificadas se expresa en las ecuaciones 10, 11, y 12.

La ecuación decodificada es:

$$Z_j = Z_j^{\circ} + \left[\frac{X_j}{\alpha} \Delta Z_j \right] \quad (10)$$

Centro de diseño:

$$Z_j^{\circ} = \frac{Z_j^{\max} + Z_j^{\min}}{2} \quad (11)$$

Radio del diseño:

$$\Delta Z_j = \frac{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}}{2} \quad (12)$$

donde : Z_j^{\max} , Z_j^{\min} : escalas naturales de nivel máximo y mínimo, X_j y α : variable y distancia codificada, respectivamente (Myers,2002).

Cuadro 3. Estructura para el análisis del diseño experimental central compuesto rotatable de la determinación de grado de hidrólisis.

N° Ts	Factores codificados			Factores reales						Parámetros a evaluar
				Licuefacción			Sacarificación			
	X1	X2	X3	X1	X2	X3	X1	X2	X3	
1	-1	-1	-1	0.04	100	60	0.08	30	50	Dextrosa equivalente
2	1	-1	-1	0.06	100	60	0.14	30	50	
3	-1	1	-1	0.04	150	60	0.08	40	50	
4	1	1	-1	0.06	150	60	0.14	40	50	
5	-1	-1	1	0.04	100	70	0.08	30	65	
6	1	-1	1	0.06	100	70	0.14	30	65	
7	-1	1	1	0.04	150	70	0.08	40	65	
8	1	1	1	0.06	150	70	0.14	40	65	
9	-1.68	0	0	0.033	125	65	0.06	35	57.5	
10	+1.68	0	0	0.066	125	65	0.16	35	57.5	
11	0	-1.68	0	0.05	82.95	65	0.11	26.6	57.5	
12	0	+1.68	0	0.05	167.04	65	0.11	43.4	57.5	
13	0	0	-1.68	0.05	125	56.591	0.11	35	44.8	
14	0	0	+1.68	0.05	125	73.409	0.11	35	70.1	
15	0	0	0	0.05	125	65	0.11	35	57.5	
16	0	0	0	0.05	125	65	0.11	35	57.5	
17	0	0	0	0.05	125	65	0.11	35	57.5	
18	0	0	0	0.05	125	65	0.11	35	57.5	
19	0	0	0	0.05	125	65	0.11	35	57.5	
20	0	0	0	0.05	125	65	0.11	35	57.5	

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE CHUÑO Y TUNTA

En el Cuadro 4. Se muestra el rendimiento del almidón, obtenido de los tubérculos deshidratados chuño y tunta de la variedad de papa amarga (*Solanum juzepczuki*) denominada locka; donde se observa el rendimiento del almidón de tunta con 18.8 %, el cual es similar al obtenido por Foraquita (2003), quien reporta un rendimiento de 18.9% para chuño blanco. Sin embargo, el almidón de chuño presentó un rendimiento de 13.94 %, debido a que no se tuvo cuidado en identificar las partículas del almidón durante la operación unitaria de decantación y lavado en la extracción del almidón de chuño, diferencia que también se ve reflejada en la cantidad de bagazo, el cual indica los residuos obtenidos en la extracción del almidón que podrían ser destinados en la elaboración de alimentos balanceados para animales. (Cuadro 4)

Por otro lado, el rendimiento de almidón en papa amarga, reportada por Foraquita (2003). Fue 11.1%, lo cual es menor en comparación a los rendimientos del almidón de chuño y tunta del cual inferimos que la diferencia se debe a que el chuño y tunta presentan mayor cantidad en materia seca en comparación a la papa fresca.

Cuadro 4. Rendimiento del almidón de chuño y tunta

Producto	Chuño	Tunta
Peso de la harina (kg.)	12	11.142
Peso almidón obtenido (g)	1673	2100
Rendimiento (%)	13.94	18.8
Peso de bagazo (kg.)	10.327	9.042

En el Anexo 3, se presenta los análisis fisicoquímicos proximales del almidón de chuño y tunta, donde se aprecia el porcentaje de humedad del almidón de chuño es 10.9%, mismo que se encuentra dentro del rango de humedad entre

10.5% - 12.5%; registrado por IIT (1974) para el almidón de maíz. No obstante, el almidón de tunta presento 9.50%; en humedad.

En el Anexo 3; también se indica que el porcentaje de proteína presente en el almidón de chuño y tunta con 0.02% y 0.01% respectivamente, son menores a 0.05% de proteína presente en el almidón de maíz, igualmente los porcentajes de proteína son menores a 0.4% de proteína del almidón de kiwicha (*Amaranthus caudatuslinneo linneo*), el cual es reportado por Calixto & Arnao, (2004). Ya que un almidón con alto contenido de proteína puede ocasionar reacciones indeseables (reacciones de Maillard) durante la licuefacción del almidón (Bello, et. al. (2002).

El bajo contenido de proteína presente en el almidón de chuño y tunta como también el 0.00% de grasa. Se puede afirmar que es procedente de la transformación producida desde la papa, la cual fue sometida al proceso de deshidratación, lavados continuos y secados en su obtención como producto a eso incluirle el proceso de extracción del almidón, la cual pone en certeza dichos resultados.

Estrada, et. al. (2009), menciona que la presencia de grasa en el almidón afecta negativamente sus propiedades como: capacidad de absorción de agua, solubilidad y claridad, al evitar su unión con las moléculas de agua, así como causa rancidez durante el almacenamiento además de ejercer efecto inhibitorio durante la hidrólisis enzimática. Por lo tanto, el porcentaje de proteína y grasa presente en el almidón de chuño y tunta es adecuado para la hidrólisis enzimática del almidón.

4.2 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE AMILOSA Y AMILOPECTINA.

En el Cuadro 5, se muestran los valores promedio de amilosa y amilopectina de almidón de chuño, tunta y del almidón químicamente puro (AQP).

El registro de los datos experimentales obtenidos por triplicado para la determinación de amilosa y amilopectina se detalla en el Apéndice 1

Cuadro 5. Promedios del porcentaje de amilosa y amilopectina del almidón de chuño, tunta y AQP.

Almidón	Amilosa	Grupos	Amilopectina	Grupos
Chuño	21.160	a	79.077	a
AQP	0.097	b	99.957	b
Tunta	22.193	a	77.670	a
AQP	0.097	b	99.957	b

Del Cuadro 5, se observa que existe menor porcentaje de amilosa y mayor porcentaje de amilopectina en el almidón químicamente puro (AQP), frente al almidón de chuño y tunta, siendo notoria tal superioridad, indicamos que es debido a la fuente proveniente del almidón como también a la conformación de su estructura química. Las cuales clasifican al almidón de chuño y tunta por su contenido de amilosa como almidones normales y al AQP como un almidón ceroso. El cual es afirmado por Aguilar (2007), describiendo como almidón ceroso, aquel que posee alrededor de 1%, de amilosa y 99% de amilopectina. Por ejemplo, el almidón de maíz ceroso contiene desde 0 – 2% en amilosa (Torres, 2007). Considerando también el almidón químicamente puro está destinado a uso exclusivo de laboratorios químicos para realizar diferentes análisis. En tal sentido su composición indica una variación frente a otros almidones con características propias y aplicaciones diferentes.

En el Cuadro 5, se observa los porcentajes de amilosa y amilopectina en el almidón de chuño y tunta, valores que se ubican dentro de (18-30%) en amilosa y de (70 – 82%) amilopectina, para almidones normales (nativos) reportado por Aguilar (2007). Así mismo, los porcentajes de amilosa encontrados en ambos almidones son menores a 29.3% de amilosa del almidón de maíz. (Jiménez, et. al.

2007). Sin embargo, el porcentaje de amilopectina en el almidón de chuño y tunta es mayor a 73.10% de amilopectina en el almidón de papa reportado por Delgado, et. al. (2009).

Rocha, et. al. (2005), Indica que el almidón con bajo contenido de amilosa influye en la hidrólisis enzimática aumentando el rompimiento de sus enlaces glucosídicos ya que a mayor contenido de amilosa presenta mayor resistencia a su degradación enzimática. Por lo que en este sentido, el porcentaje de amilosa presente en el almidón de chuño y tunta refleja una cantidad adecuada para una hidrólisis enzimática del almidón.

En los Apéndices 2 y 4 se presentan el análisis de varianza (ANVA) para evaluar los porcentajes de amilosa y amilopectina del almidón de chuño y tunta en relación al de AQP, donde se aprecia que hubo diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) entre la amilosa de chuño y de AQP. Sin embargo, el contenido de amilopectina fue ligeramente menor que de AQP. Así mismo, el ANVA (Apéndices 6 y 8) reporta que existe diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) entre la amilosa de tunta y de AQP. Pero, la amilopectina fue ligeramente menor al de AQP, lo que afirma que la cantidad de amilosa y amilopectina son dependientes de la fuente de obtención de almidón.

Las pruebas de Tuckey ($\alpha = 0.01$) se muestran en el Apéndices 3 y 7 reportan que el almidón de chuño y tunta es mejor para un proceso de hidrólisis enzimática eficiente con 21.16 y 22.19% de amilosa, respectivamente, comparados con amilosa de AQP, que presentó 0.09% en gránulos de almidón. De igual manera, en los Apéndices 5 y 9, se aprecia comparaciones de Tukey, los cuales indican que el almidón de chuño y tunta es mejor para la hidrólisis con 79.07 y 77.67% de amilopectina, respectivamente, comparados con 99.95% de amilopectina del AQP.

Mera, et. al. (2003), indica que, el almidón con un contenido de amilosa y amilopectina cercanas a 12 y 88%, respectivamente, representa un sustrato (almidón) adecuado para un proceso hidrólisis enzimática eficiente, es decir existe

mayor susceptibilidad enzimática del granulo de almidón. Por lo tanto, mayor será la concentración de glucosa.

4.3 DETERMINACION DEL GRADO DE HIDROLIS EN LA ETAPA DE LICUEFACCION DEL ALMIDÓN DE CHUÑO Y TUNTA

En el Cuadro 6, se presentan los resultados del grado de hidrólisis en la etapa de licuefacción de almidón de chuño y tunta expresados como dextrosa equivalente (DE), obtenidos en cada uno de los tratamientos. El procedimiento para la determinación de los valores de DE. Se detalla en el Apéndices 10.

En el Cuadro 6, también podemos observar que los mayores valores de dextrosa equivalente en la etapa de licuefacción de almidón de chuño y tunta se obtuvieron a 0.05g/kg de concentración de la enzima alfa amilasa, tiempo de reacción 125 minutos y 65°C temperatura, mostrando valores de 32.975 y 28.697% en dextrosa equivalente, respectivamente, los cuales son superiores al obtenido por (Jiménez, et. al. 2007; Delgado, et. al. 2009) que presentaron dextrosa equivalente entre 9 a 15%, en la etapa de licuefacción de almidón de papa y maíz; con concentraciones de 20 a 35% de almidón (Buchholz & Seibel, 2008; Vander Veen, et. al. 2006). Dicha superioridad puede ser debido al menor contenido de amilosa encontrado en el almidón de chuño y tunta 21.16 y 22.19%, respectivamente; teniendo en cuenta que para la hidrólisis enzimática del almidón de papa es 26.98% de contenido de amilosa (Delgado, et. al. 2009) y 29.3% para el maíz (Jiménez, et. al. 2007).

Cuadro 6. Licuefacción de almidón de chuño y tunta con variables involucradas según el modelo de superficies de respuestas utilizado.

N° Ts	Variables independientes			Variables dependientes	
				Maltodextrina	
	E/S (g/kg.)	Tiempo (min.)	Temp.(°C)	Chuño DE (%)	Tunta DE (%)
1	0.04	100	60	19.658	21.531
2	0.06	100	60	18.997	21.358
3	0.04	150	60	28.897	22.538
4	0.06	150	60	22.528	22.657
5	0.04	100	70	16.689	22.657
6	0.06	100	70	24.778	24.498
7	0.04	150	70	22.412	23.339
8	0.06	150	70	17.868	26.505
9	0.033	125	65	20.906	20.884
10	0.067	125	65	18.563	22.162
11	0.05	82.955	65	22.938	20.892
12	0.05	167.05	65	26.753	22.456
13	0.05	125	56.591	21.241	24.489
14	0.05	125	73.409	19.843	27.128
15	0.05	125	65	32.017	28.031
16	0.05	125	65	32.975	28.697
17	0.05	125	65	32.967	28.525
18	0.05	125	65	32.016	28.067
19	0.05	125	65	32.974	28.561
20	0.05	125	65	31.504	28.233

En el Cuadro 7, se presenta el análisis de varianza, cuyos factores son la concentración de la enzima alfa amilasa, tiempo de reacción y temperatura en la licuefacción del almidón de chuño; estos factores, mostraron diferencias altamente significativas; a excepción de la variable concentración de la enzima que solo presentó diferencia significativa. Según el tiempo de reacción al obtener un valor de $F_c = 57.08 > F_t = 16.258$ al 1% de significancia, produce efectos concerniente a la dextrosa equivalente. De la misma manera, se determinó que las interacciones de los factores mostraron diferencias altamente significativas.

Cuadro 7. Análisis de varianza de concentración, tiempo y temperatura para dextrosa equivalente de las maltodextrinas de chuño.

F de V	GL	SC	CM	Fc	ρ	Sig.	Ft(0.05)	Ft(0.01)
A: E/S	1	4.03732	4.03732	9.71	0.0263	*	6.608	16.258
B: Tiempo	1	23.7221	23.7221	57.08	0.0006	**	6.608	16.258
C: Temperatura	1	8.3585	8.3585	20.11	0.0065	**	6.608	16.258
AA	1	278.038	278.038	668.98	0.0000	**	6.608	16.258
AB	1	42.049	42.049	101.17	0.0002	**	6.608	16.258
AC	1	13.9788	13.9788	33.63	0.0021	**	6.608	16.258
BB	1	96.3276	96.3276	231.77	0.0000	**	6.608	16.258
BC	1	24.3497	24.3497	58.59	0.0006	**	6.608	16.258
CC	1	243.068	243.068	584.84	0.0000	**	6.608	16.258
F.a.	5	8.40849	1.6817	4.05	0.0756	ns	6.608	16.258
Error	5	2.07808	0.415617					
Total	19	649.62						

Sig.: significancia, * = diferencia significativa ($\rho < 0.05$), ns = no significancia ($\rho > 0.05$), ** = diferencia estadística altamente significativa ($\rho < 0.01$).

C.V. = 2.6%

En el Cuadro 8, se presenta el análisis de varianza, cuyos factores son: la concentración de la enzima alfa amilasa, tiempo de reacción y temperatura de la licuefacción del almidón de tunta; estos factores mostraron diferencias altamente significativas. Según la concentración de la enzima alfa amilasa se obtiene un valor de $F_c = 47.23 > F_t = 16.258$ al 1% de significancia, la cual produce efectos referente a la dextrosa equivalente.

Respecto al tiempo de reacción el valor de $F_c = 54.44 > F_t = 16.258$ a un nivel de significancia del 1% y en la temperatura el valor $F_c = 166.94 > F_t = 16.258$ al 1% de significancia; de esta manera ambos factores demuestran que la DE en las maltodextrinas de tunta varia, cuando los niveles de los factores sean diferentes. De la misma forma se determinó que las interacciones, mostraron diferencias altamente significativas. A excepción de las interacciones AB y BC que no presentaron diferencias significativas; es decir no son dependientes entre sí.



Cuadro 8. Análisis de varianza de concentración, tiempo y temperatura sobre la DE de las maltodextrinas de tunta

F de V	GL	SC	CM	Fc	ρ	Sig.	Ft(0.05)	Ft(0.01)
A: E/S	1	3.69361	3.69361	47.23	0.0010	**	6.608	16.258
B: Tiempo	1	4.25772	4.25772	54.44	0.0007	**	6.608	16.258
C: Temperatura	1	13.0564	13.0564	166.94	0.0000	**	6.608	16.258
AA	1	77.4247	77.4247	989.93	0.0000	**	6.608	16.258
AB	1	0.326836	0.326836	4.18	0.0963	ns	6.608	16.258
AC	1	3.20172	3.20172	40.94	0.0014	**	6.608	16.258
BB	1	73.899	73.899	944.85	0.0000	**	6.608	16.258
BC	1	0.0183361	0.0183361	0.23	0.6487	ns	6.608	16.258
CC	1	9.28584	9.28584	118.73	0.0001	**	6.608	16.258
F.a.	5	1.43775	0.287551	3.68	0.0897	ns	6.608	16.258
Error	5	0.391061	0.0782123					
Total	19	166.261						

C.V. = 1.13%.

Los modelos de regresion de superficie de respuesta ajustado a los resultados experimentales de dextrosa equivalente, muestran un coefeciente de determinacion (R²) de 0.98 y 0.99, los cuales indica un buen ajuste, dado que los modelos explican en un 98 y 99% la variación de los resultados. Las ecuaciones de regresión para dextrosa equivalente a diferentes concentraciones de la enzima alfa amilasa, tiempo de reacción y temperatura son las siguientes:

$$DE_{\text{maltodextrina de chuño}} = Y = -914,604 + 3765,91 * X_1 + 2,4526 * X_2 + 21,622 * X_3 - 43924,0 * X_1^2 - 9,1705 * X_1 * X_2 + 26,4375 * X_1 * X_3 - 0,00413659 * X_2^2 - 0,013957 * X_2 * X_3 - 0,164274 * X_3^2$$

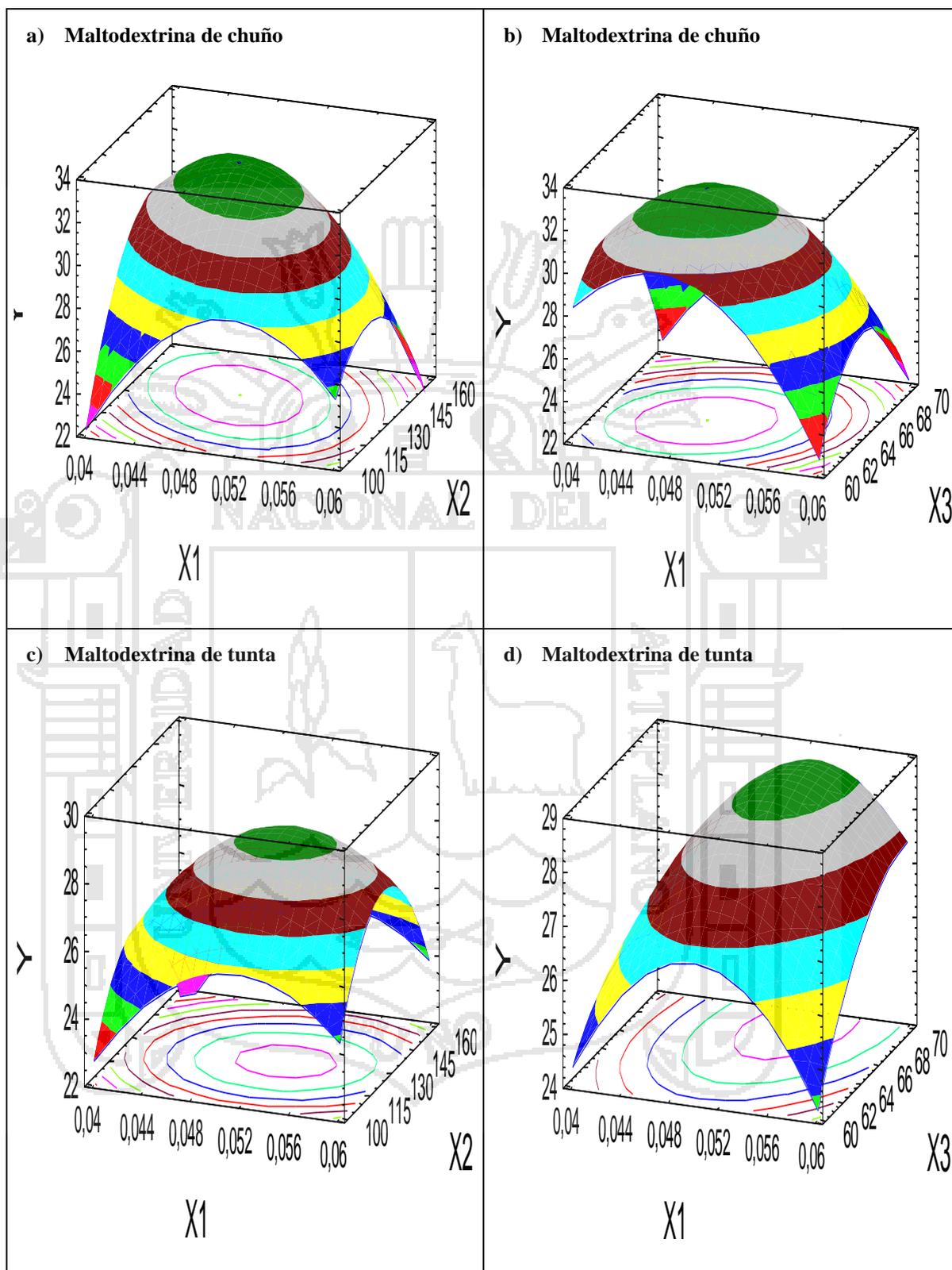
$$DE_{\text{maltodextrina de tunta}} = Y = -190,696 + 1446,4 * X_1 + 0,862803 * X_2 + 3,68912 * X_3 - 23178,7 * X_1^2 + 0,8085 * X_1 * X_2 + 12,6525 * X_1 * X_3 - 0,00362315 * X_2^2 + 0,000383 * X_2 * X_3 - 0,0321082 * X_3^2$$

Dónde:

- X1: Concentración de la enzima alfa amilasa (E/S) (g/kg.)
- X2: Tiempo de reacción (min.)
- X3: Temperatura (°C)

Los modelos matemáticos expresados en gráficos de superficies de respuesta para los grados de conversión en maltodextrinas (DE) se presentan en la Figura 13, el cual permite visualizar que los máximos valores de DE corresponden a una concentración de enzima, tiempo de reacción y temperatura cercanos a niveles intermedios dentro de los límites usados para las variables independientes, si mantenemos constante los ejes del tiempo de reacción y nos movemos solo en los ejes de la concentración de enzima (alfa amilasa); alcanzamos el máximo valor de DE a una concentración de 0.048g/kg (Figura 13a). Sin embargo, el máximo valor de DE corresponde a 0.052g/kg de concentración de enzima en las maltodextrinas de tunta (Figura 13c). Una disminución a partir de este punto provoca una reducción de los valores de DE; comportamiento que está acorde con lo indicado por Figueroa & Sánchez (2004), quien afirma que a menores concentraciones de enzima menor es el grado de hidrólisis. Por otro lado, los máximos valores de DE en la etapa de licuefacción de almidón de chuño y tunta se obtiene a un tiempo de reacción (135.46 y 128.50min) y a una temperatura (63.91 y 68.48°C), respectivamente (Figura 13). De igual manera a menores tiempos de reacción y temperatura los valores de DE son menores (Figura 13), los cuales se deben a que si existe una disminución y/o aumento de tiempo de reacción ocasiona una ligera variación en el valor de DE considerando también que la enzima alfa amilasa logra su mayor actividad a temperaturas cercanas a 70°C, respectivamente. (Mera, et. *al.* 2003; Caypo & Pérez, 2007).

Fig. 13. Dextrosa equivalente de las maltodextrinas del chuño y la tunta en función a diferentes concentraciones de enzima (X1), tiempo (X2) y temperatura (X3).



Los valores óptimos obtenidos por el método analítico del programa statgraphics en la etapa de licuefacción se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Valores óptimos obtenidos por el método analítico en la etapa de licuefacción.

Factores	Optimo	
	Chuño	Tunta
Concentración de enzima (g/kg)	0.048	0.052
Tiempo de reacción (min.)	135.46	128.51
Temperatura(°C)	63.92	68.48
Dextrosa equivalente (%)	32.81	28.77

4.4 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE HIDROLISIS EN LA ETAPA DE SACARIFICACIÓN DE LAS MALTODEXTRINAS.

Los resultados obtenidos de dextrosa equivalente durante la aplicación de la enzima glucoamilasa en maltodextrinas se muestran en el cuadro 10. El procedimiento para la determinación de DE. Se muestra con detalle en el Apéndice 11.

En el Cuadro 10, también podemos observar que el mayor valor de DE obtenido en la etapa de sacarificación fue de 40.736% para chuño y 38.494% para el hidrolizado de tunta; empleando 0.11g/kg de concentración de la enzima glucoamilasa, tiempo de reacción 35 minutos y de temperatura 57.5°C. Estos valores son cercanos al reportado por Ruiz (2001) que fue de 38.70% para el hidrolizado de yuca, en condiciones de enzima/sustrato, tiempo y temperatura similares.

La calidad de los jarabes de glucosa se determina por el factor DE (Bedolla, 2004). El valor 40.736% de dextrosa equivalente para jarabe de chuño se encuentra dentro del rango 39 - 43% de DE de un jarabe de glucosa de conversión normal. No obstante, el valor 38.494% de dextrosa equivalente en el jarabe de tunta solamente es análogo al valor mínimo (39%) de dextrosa equivalente de un jarabe de glucosa de conversión normal que es generalmente

utilizado en el mercado por ser económico y de excelentes características fisicoquímicas. Se emplea en numerosos productos, principalmente para prevenir la cristalización del azúcar, retener la humedad, impartir viscosidad y como fuente de carbohidratos en algunos procesos (Bedolla, 2004; Almex, 2006).

Cuadro 10. Sacarificación de los hidrolizados de almidón de chuño y tunta con variables independientes según el modelo de superficies de respuestas utilizado.

N° Ts	Variables independientes			Variables dependientes	
	E/S (g/kg.)	Tiempo (min.)	Temp. (°C)	Jarabe	
				Chuño DE (%)	Tunta DE (%)
1	0.08	30	50	27.881	28.521
2	0.14	30	50	27.444	28.441
3	0.08	40	50	30.962	29.394
4	0.14	40	50	34.814	32.886
5	0.08	30	65	26.855	28.361
6	0.14	30	65	35.268	32.202
7	0.08	40	65	29.724	28.335
8	0.14	40	65	36.390	34.587
9	0.06	35	57.5	27.554	28.371
10	0.16	35	57.5	32.513	34.163
11	0.11	26.6	57.5	24.337	26.882
12	0.11	43.4	57.5	32.774	31.454
13	0.11	35	44.8	30.920	29.843
14	0.11	35	70.1	33.096	31.319
15	0.11	35	57.5	39.899	38.307
16	0.11	35	57.5	40.736	38.494
17	0.11	35	57.5	40.368	37.555
18	0.11	35	57.5	39.913	38.145
19	0.11	35	57.5	38.118	38.059
20	0.11	35	57.5	40.473	38.445

En el Cuadro 11, se presenta el análisis de varianza, cuyos factores son la concentración de la enzima alfa amilasa, tiempo de reacción y temperatura de la sacarificación de las maltodextrinas de chuño; estos factores, mostraron diferencias

altamente significativas, influyendo directamente en el grado de hidrólisis. Sin embargo, el factor temperatura solo presentó diferencia significativa. Al igual que los factores A y B; los efectos cuadráticos y la interacción AC, muestran diferencia altamente significativa. Mientras, la interacción BC solo es significativa. Pero, la interacción AB no muestra una dependencia entre sí.

Cuadro 11. Análisis de varianza de concentración, tiempo y temperatura sobre la DE. de los jarabes de glucosa de chuño.

F de V	GL	SC	CM	Fc	ρ	Sig.	Ft(0.05)	Ft(0.01)
A: E/S	1	52.7259	52.7259	59.64	0.0006	**	6.608	16.258
B: Tiempo	1	60.0249	60.0249	67.90	0.0004	**	6.608	16.258
C: Temperatura	1	8.53378	8.53378	9.65	0.0266	*	6.608	16.258
AA	1	144.445	144.445	163.40	0.0001	**	6.608	16.258
AB	1	0.807721	0.807721	0.91	0.3830	ns	6.608	16.258
AC	1	17.0061	17.0061	19.24	0.0071	**	6.608	16.258
BB	1	196.062	196.062	221.79	0.0000	**	6.608	16.258
BC	1	5.21645	5.21645	5.90	0.0594	*	6.608	16.258
CC	1	87.7669	87.7669	99.28	0.0002	**	6.608	16.258
F.a.	5	16.465	3.29301	3.73	0.0876	ns	6.608	16.258
Error	5	4.42003	0.884007					
Total	19	525.496						

C.V.=2.8%

En el Cuadro 12, se presenta el análisis de varianza, cuyos factores son: la concentración de la enzima glucoamilasa, tiempo de reacción y temperatura de la sacarificación de las maltodextrinas de tunta; estas variables y sus efectos tanto lineales como cuadráticos presentan un efecto altamente significativo ($p < 0.01$) en los grados de hidrólisis, a excepción de la interacción BC que solo presentó diferencia significativa. Estos resultados indican que la concentración (E/S), tiempo de reacción y la temperatura afectan directamente a la variable respuesta, también señala la dependencia existente entre AB, AC y BC.



Cuadro 12. Análisis de varianza de concentración, tiempo y temperatura sobre la DE. de los jarabes de glucosa de tunta.

F de V	GL	SC	CM	Fc	ρ	Sig.	Ft(0.05)	Ft(0.01)
A: E/S	1	39.5683	39.5683	335.04	0.0000	**	6.608	16.258
B: Tiempo	1	17.2894	17.2894	146.40	0.0001	**	6.608	16.258
C: Temperatura	1	3.31189	3.31189	28.04	0.0032	**	6.608	16.258
AA	1	78.8442	78.8442	667.60	0.0000	**	6.608	16.258
AB	1	4.47454	4.47454	37.89	0.0016	**	6.608	16.258
AC	1	5.57947	5.57947	47.24	0.0010	**	6.608	16.258
BB	1	136.811	136.811	1158.43	0.0000	**	6.608	16.258
BC	1	1.09446	1.09446	9.27	0.0286	*	6.608	16.258
CC	1	96.0432	96.0432	813.23	0.0000	**	6.608	16.258
F. a.	5	1.45623	0.291246	2.47	0.1722	ns	6.608	16.258
Error	5	0.590504	0.118101					
Total	19	334.557						

C. V. = 1.05%

La ecuación que correlaciona las variables en la región estudiada y que permite estimar superficies de respuesta es:

$$DE_{\text{Jarabe de chuño}} = Y = -350,618 + 392,642 \cdot X_1 + 11,7521 \cdot X_2 + 5,19162 \cdot X_3 - 3517,67 \cdot X_1^2 + 2,11833 \cdot X_1 \cdot X_2 + 6,48 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,147537 \cdot X_2^2 - 0,0215333 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,0438727 \cdot X_3^2$$

$$DE_{\text{Jarabe de tunta}} = Y = -291,079 + 240,571 \cdot X_1 + 8,87081 \cdot X_2 + 5,28048 \cdot X_3 - 2598,9 \cdot X_1^2 + 4,98583 \cdot X_1 \cdot X_2 + 3,71167 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,123244 \cdot X_2^2 - 0,00986333 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,0458946 \cdot X_3^2$$

Dónde:

- X1: Concentración de la enzima glucoamilasa (E/S) (g/kg.)
- X2: Tiempo de reacción (min.)
- X3: Temperatura (°C)

El R_2 explica con el 96.02 y 99.39 % (jarabe de chuño y tunta) de variabilidad en dextrosa equivalente observado en el experimento. Esto significa que los factores estudiados, junto con sus interacciones y cuadráticas, explican un alto porcentaje de variabilidad en la variable respuesta, y por tanto el efecto atribuible a factores no estudiado, sea que se hayan mantenido en un nivel fijo o que hayan tenido pequeñas variaciones, mas el efecto de errores experimentales, fueron pequeños comparados con el efecto de los factores estudiados, obteniendo los valores óptimos como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Valores óptimos obtenidos por el método analítico en la etapa de sacarificación

Factores	Optimo	
	Chuño	Tunta
Concentración de enzima (g/kg)	0.121	0.123
Tiempo de reacción (min.)	36.379	36.128
Temperatura(°C)	59.195	58.610
Dextrosa equivalente (%)	40.616	38.678

Del Cuadro 13, podemos inferir que las condiciones adecuadas para la obtención de jarabe de glucosa de chuño y tunta en la etapa de sacarificación son 0.121 y 0.123g/kg de concentración de la enzima glucoamilasa, tiempo de reacción 36.378 y 36.126 minutos; con 59.198 y 58.612°C temperatura, respectivamente.

En la Figura 14, se muestra superficies de respuesta tridimensional para la respuesta DE. en términos de las variables concentración de enzima, tiempo de reacción y temperatura. Es relativamente sencillo ver por el examen de las Figuras 14a, 14b, 14c y 14d, que los máximos valores en DE. se obtuvieron a una concentración de enzima, tiempo de reacción y temperatura cercanos a niveles intermedios, si mantenemos constante los tiempos de reacción y nos movemos solo en los ejes de concentración de enzima véase en (Figuras 14a y 14c) encontramos los máximos grados de hidrólisis a una concentración de 0.121g/kg para jarabe de chuño y 0.123g/kg para el hidrolizado de tunta, después de estas concentraciones un

aumento superior en las concentraciones de alfa amilasa provocan una disminución en los grados de hidrólisis, la causa de este hecho según lo reportado por (Koluseva & Marnova, 2007) se debe a que entre mayor sea la concentración de enzima y menor sea el sustrato disponible, la tasa de reacción disminuye, porque hay menos lugares de reacción activos disponibles para hidrolizar el sustrato, generando una limitante por exceso de enzima. Por otra parte, en la figura 20, podemos observar que el máximo valor en DE. del jarabe de chuño y tunta se obtiene a 36.378 y 36.126 min. en tiempo de reacción; con 59.198 - 58.612°C de temperatura, respectivamente. De igual manera, se observa los mismos comportamientos si mantenemos constante las concentraciones de enzima y nos movemos solo en los ejes de tiempo de reacción y temperatura, hechos atribuibles a que durante tiempos prolongados y a temperaturas altas, pueden favorecer la polimerización de la glucosa otros tipos de azúcares no convenientes para las propiedades deseadas en este tipo de producto. (Piñero, 2006).

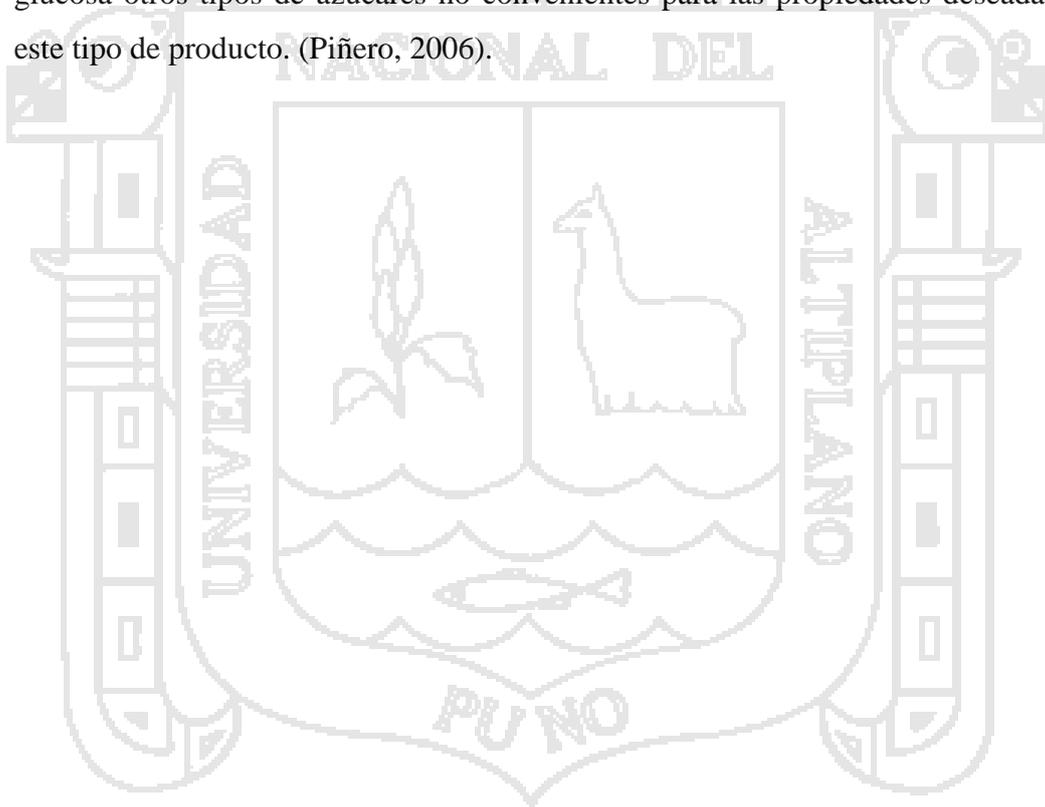
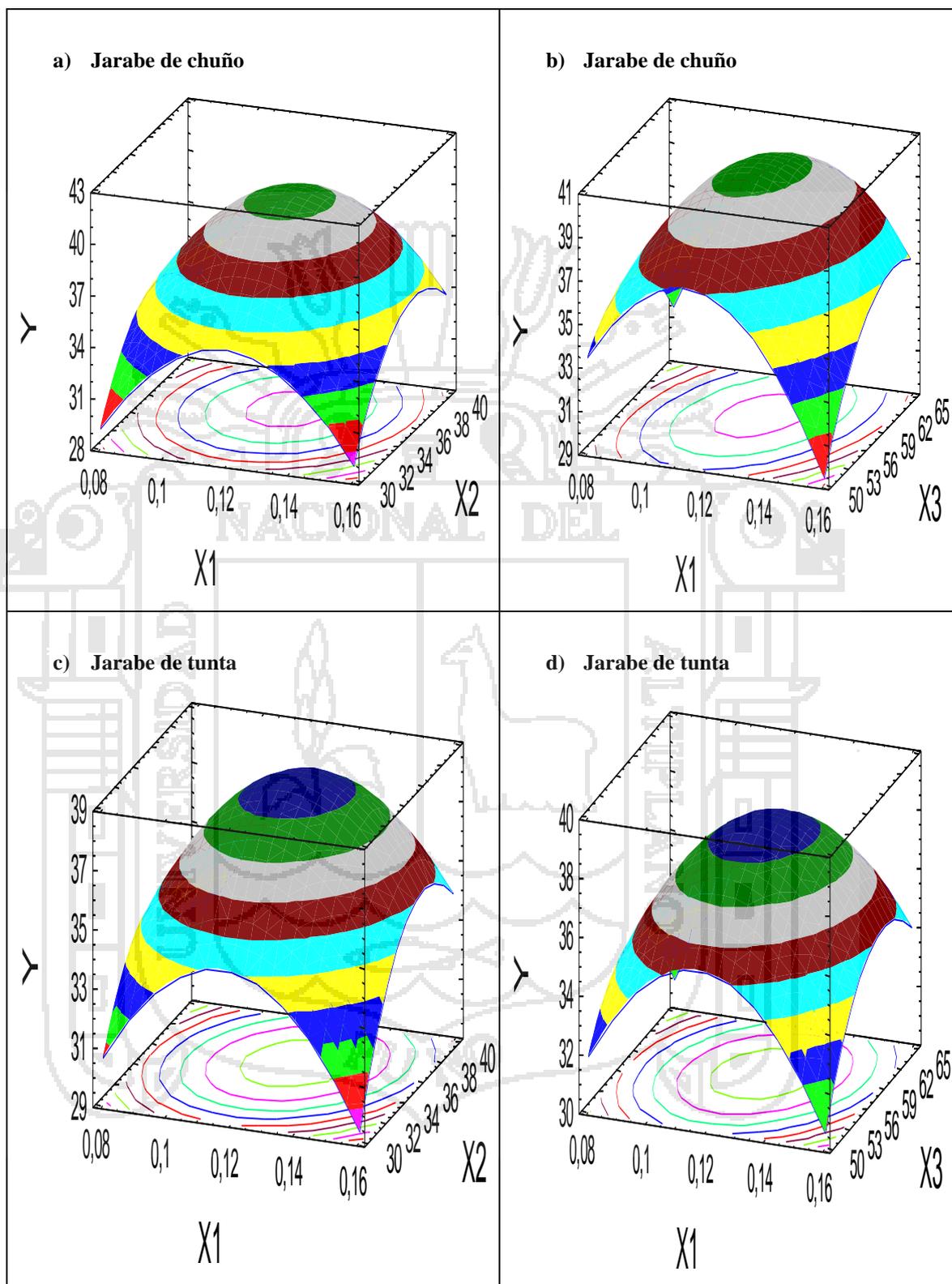


Fig. 14. Dextrosa equivalente de los jarabes del chuño y la tunta en función a diferentes concentraciones de enzima (X1), tiempo (X2) y temperatura (X3).



4.5 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS JARABES DE GLUCOSA.

Se realizaron algunas determinaciones a los jarabes de glucosa obtenidos al final de los procesos de sacarificación. Estas fueron viscosidad, color (UDO), densidad y pH; los que se muestran en el Cuadro 14, del cual se observa que el mayor valor de viscosidad para jarabe de chuño y tunta son 9.86 y 3.96 cp respectivamente. Indicando que la viscosidad del jarabe de chuño y tunta son muy bajas comparando con 500 cp de viscosidad en jarabe de maíz (Chávez, 2002). Sin embargo Hernández (2004), afirma que la viscosidad de un jarabe de glucosa es directamente proporcional a su contenido de humedad y su peso molecular en consecuencia es inversamente proporcional al contenido de DE. En este caso los contenidos de DE. Fueron ligeramente cercanos. Por lo que los valores bajos de viscosidad en los jarabes de chuño y tunta podría ser debido a la diferencia que existe en los contenidos de humedad, los cuales presentan 30.66 y 36.7% de humedad, respectivamente estos valores son mayores al estándar (< 30% Humedad) recomendado por Bello, et. al. (2002).

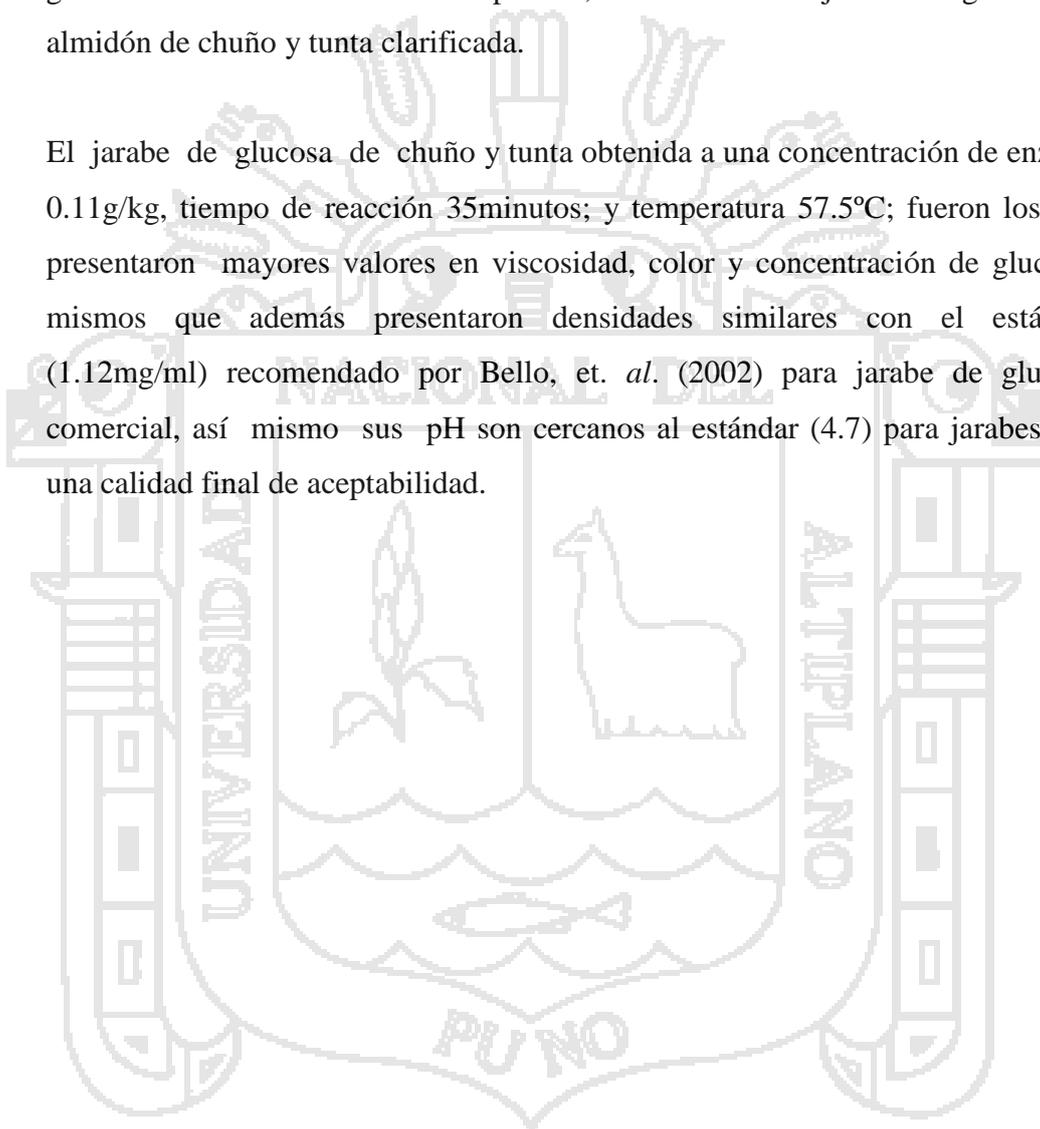
En los apéndices 12 y 14, podemos observar que al graficar los comportamientos del esfuerzo de corte con respecto a la velocidad de deformación, se tiene líneas inversamente proporcional entre ambos parámetros, resultando tanto el jarabe de glucosa de chuño como de tunta, fluidos no newtonianos a consecuencia de que el índice de flujo es menor a 1; es decir los jarabes obtenidos no tienen un valor de viscosidad definido y constante, lo cual indica que para cierto nivel de la velocidad de deformación, existe un esfuerzo de corte en la que se obtiene mayor ó menor viscosidad, comportamientos que no coinciden con lo reportado por Días, et. al. (2003) para jarabe de maíz, el cual es un fluido newtoniano. Además en los Apéndices 13 y 15, las curvas de viscosidad de jarabe de chuño y tunta indican que la viscosidad disminuye a medida que aumenta la velocidad de cizalla en revoluciones por minuto.

Cuadro 14. Características fisicoquímicas de los jarabes de glucosa de Chuño y Tunta

Ts	Jarabe							
	Chuño				Tunta			
	Viscosidad (cp.)	Color (UDO)	ρ (g/ml)	pH	Viscosidad (cp.)	Color (UDO)	ρ (g/ml)	pH
1	5.1	0.028	1.11	4.3	2,75	0.029	1.17	4.9
2	8,26	0.030	1.14	4	2.7	0.028	1.19	4.4
3	3.1	0.042	1.11	4.6	3.17	0.032	1.18	4.6
4	2.9	0.039	1.17	4.3	3.49	0.039	1.17	4.7
5	2.7	0.027	1.12	4.2	3.16	0.034	1.09	4.9
6	3.4	0.034	1.10	3.8	3.41	0.038	1.09	4.3
7	4,35	0.031	1.10	4	3.25	0.037	1.11	4.6
8	3.7	0.028	1.18	3.8	3.53	0.035	1.20	4.4
9	3.5	0.031	1.11	3.9	3.19	0.037	1.11	4.2
10	3.1	0.029	1.12	4	3.51	0.033	1.12	4.5
11	2.5	0.040	1.11	3.9	2.67	0.029	1.11	4.4
12	2,69	0.040	1.10	4.1	3.39	0.040	1.15	4.3
13	3.4	0.047	1.10	4.2	3.21	0.034	1.12	4.2
14	3.7	0.030	1.13	4.2	3.28	0.029	1.12	4.9
15	3.5	0.045	1.11	3.9	3,86	0.045	1.12	4.2
16	9,86	0.049	1.11	4	3.96	0.049	1.12	4.3
17	9.3	0.035	1.11	4.2	3.81	0.041	1.12	4.3
18	9.6	0.037	1.11	3.9	3.85	0.044	1.12	4.3
19	9.3	0.040	1.11	4	3.82	0.041	1.12	4.8
20	9	0.041	1.11	3.9	3.94	0.045	1.12	4.3

En el Cuadro 14, también podemos observar que el mayor valor de UDO obtenido fue de 0.04898 para jarabe de glucosa de chuño y 0.04892 para jarabe de tunta. Los cuales son menores al valor estándar (0.125UDO) recomendado por Pancoast & Junk (1980) para este tipo de productos. Estas diferencias pueden ser debido a que los jarabes de glucosa no han pasado por ningún proceso de clarificación. Por lo tanto, la comparación con el jarabe de glucosa de otras fuentes sería más precisa, si se contara con jarabes de glucosa de almidón de chuño y tunta clarificada.

El jarabe de glucosa de chuño y tunta obtenida a una concentración de enzima 0.11g/kg, tiempo de reacción 35 minutos; y temperatura 57.5°C; fueron los que presentaron mayores valores en viscosidad, color y concentración de glucosa; mismos que además presentaron densidades similares con el estándar (1.12mg/ml) recomendado por Bello, et. al. (2002) para jarabe de glucosa comercial, así mismo sus pH son cercanos al estándar (4.7) para jarabes con una calidad final de aceptabilidad.



V. CONCLUSIONES

- El porcentaje de amilosa determinado en el almidón de chuño y tunta fue mayor al del almidón químicamente puro.
- El mayor grado de hidrólisis en la licuefacción del almidón obtenido del chuño y tunta se dio a través de la medida del porcentaje de azúcares reductores presentes en la maltodextrinas cuantificada como Dextrosa equivalente, la cual es mayor a las maltodextrinas del maíz.
- La mayor eficacia de hidrólisis en la sacarificación de maltodextrina, se obtuvo bajo condiciones dependientes de la enzima glucoamilasa, tiempo y temperatura cuantificado en dextrosa equivalente para obtener jarabe de glucosa, este valor es ligeramente cercano a una conversión normal de jarabe glucosa.
- Los jarabes de glucosa de chuño y tunta presentaron una viscosidad baja y un color ligeramente similar al del jarabe de glucosa maíz.

VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere determinar las propiedades funcionales del almidón de chuño y tunta para otras aplicaciones donde pueda utilizarse esta materia prima tanto en la industria alimentaria.
- Se debe analizar los componentes nutricionales del residuo obtenido en la extracción del almidón de chuño y tunta (bagazo) determinando su beneficio de los mismos.
- Utilizar el método de análisis de azúcares reductores por HPLC, debido a que este método pueda presentar más precisión y repetitividad que el método de Fehling.
- Evaluar el mismo procedimiento de hidrólisis del almidón de chuño y tunta, para obtener jarabe de glucosa utilizando enzimas inmovilizadas.
- Sería de utilidad el uso de un rotaevaporador con sistema al vacío, para una mejor concentración del jarabe de glucosa de chuño y de tunta.
- Utilizar el jarabe de glucosa del tratamiento óptimo y someterlo a un tercer proceso de hidrólisis enzimática para obtener jarabe de fructosa.
- Realizar la cinética enzimática del tratamiento óptimo en la obtención del jarabe de glucosa de chuño y tunta.

BIBLIOGRAFIA

1. Aehle, W. (2004): “*Enzymes in industry: production and applications*”. 2da Ed., Weinheim. Wiley-VCH.
2. Aguilar, C. (2007): “*Optimización del proceso de modificación del almidón de maíz por extrusión y el uso de mezclas de almidones modificados con mucilago de nopal para la encapsulación de aceite esencial de naranja empleando el secado por aspersión*”. Tesis. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
3. Aristizábal J. & Sanchez T. (2007): “*Guía técnica para la producción y análisis del almidón de yuca* “boletín de servicios Agrícolas de la FAO.Nº 163. ONU para la agricultura y la alimentación Italia.
4. Atarés, L. M. (2011): “*Determinación experimental de la densidad en alimentos líquidos*”. Universidad Politécnica. Valencia – España.
5. Bailey, P. (1995): “*Organic chemistry; a brief survey of concepts and applications*”. 5ºed., Englewood Cliffs N. J.: Prentice Hall.
6. Bedolla - Bernal S. (2004): “*Introducción a la tecnología de alimentos*”. 2ª. Edición. Ed. Limusa. pp. 131-139.
7. Bello, P.L; Sanchez, H.I.; Moreno, D.E. & Toro, V.J. (2002): “*Production of maltodextrins and glucose syrup from banana starch*” Laboratory scale. Acapulco- Mexico.
8. Boyer, R. (2000): “*Conceptos en bioquímica*”, Mexico: Rodney Boyer.
9. Buchholz, K. & Seibel, J. (2008): “*Industrial carbohydrate biotransformations, Carbohydrate Research*”, 343: 1966- 1979.
10. Bugg, T.(2004): “*Introduction to enzyme and coenzyme chemistry*” 2ºed., Oxford UK; Malden MA USA:Blackwell Pub.
11. Bustos, S. & otros. (2010): “*Identificar el tipo de carbohidratos mediante sus propiedades*”. Informe. Universidad Técnica Particular de Loja Ecuador.
12. Chávez, D.E. (2002): “*Elaboración de jarabe de glucosa partiendo del almidón de camote (Ipomoea batata L.)*”. Tesis. Universidad Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa - Honduras.

13. Calcáneo, E.M. (1981):”*Hidrólisis enzimática de harina de arroz*”. Tesis, Universidad de Costa Rica Carrera Interdisciplinaria en Tecnología de Alimentos.
14. Calixto M. & Arnao I. (2004):”*Modificación enzimática del Almidón nativo de Amaranthus Caudatu Lineo*”. Revista Sociedad Química del Perú; 70(01): 2-8.
15. Carell, P. (1990):”*Glucose from Cassava Starch*”. Volunteers in Technical Assistance. Virginia. USA.
16. Castillo A, (2002):”*Diccionario técnico de industrias alimentarias*”. 2da. Ed. Perú.
17. Caypo, C. & Pérez, F. (2007): “*Dextrinas a partir de almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza) por hidrólisis enzimática*”. Revista. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, Trujillo Perú.
18. Collazos, C. (1996):” *Tablas Peruanas de composición de los alimentos*”. Ministerio de Salud. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición, Séptima Edición. Lima - Perú.
19. Crowe, T. C.; Seligman, S.A. & Copeland, (2000):”*Inhibition of enzyme digestion of amylose by free fatty acids in vitro contributes to resistant starch formation*”. Journal of, 130: 2006 -2008.
20. Cruz, K. (2012):”*Modelado del proceso de hidrólisis enzimática de almidones gelatinizados del fruto de la planta de banano*” Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Procesos y Energía.
21. Chavez, D.E. (2002):”*Elaboración de jarabe de glucosa partiendo del almidón de Camote (Ipomoea batata l.)*”. Tesis. Ingeniería Agroindustrial. Honduras.
22. Chehtel, J. (1976):” *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimento*”. España. Acribia. 81-87 idem 118-129 idem 229-223 p.
23. Chica, L. & Ernesto, N. (1996):”*Sacarificación del almidón de papa*”. Tesis. Universidad Nacional de Colombia.
24. Debet, R.M. & Gidley, J.M. (2006):”*Theree classes of starch granule swelling: influence of surface proteins and lipids. Carbohydrate Polymers*”, 64(3): 452-465.

25. Delgado, R.; Castro A.J. & M, Vazquez. (2009): "A kinetic assessment of the enzymatic hydrolysis of potato (*Solanum tuberosum*)". LWT-Food Science and Technology, 42: 797-804.
26. Doble, M. (2004): "Biotransformations and bioprocesses". New York: Marcel Dekker.
27. Díaz, A. G.; Ricardo L. ;Zaldivar B.& Suárez G.(2003): "Análisis de la viscosidad de la glucosa cubana de la fábrica de hidrolizados de almidón de Cienfuegos." Universidad de Oriente.
28. Dokic, L.; Jakovijevic J. & Dokic P. (2004): "Relation between viscous characteristics and Dextrose Equivalent of Maltodextrins". Starch/Starke 56:520-525.
29. Elguero, M. X. (2000): "Comparaciones de la reproductibilidad de dos métodos para la determinación de azúcares reductores en el jugo de caña de azúcar". Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala.
30. Estrada, A.; Pérez, B; Martínez, C. & Montañez, S., (2009): "Producción enzimática de maltodextrinas a partir de almidón de malanga (*colocasia esculenta*)". Artículo. Instituto Tecnológico de Tuxtepec. México.
31. Figueroa, M. & Sánchez, C.P. (2004): "Producción de maltodextrinas a partir de almidón de yuca". Artículo. Universidad de Antioquia, Colombia.
32. Foraquita, V. (2003): "Obtención y caracterización del almidón de papa amarga (*Solanum juzepczukii*) fresca y procesada como chuño blanco". Tesis. para optar el título de ingeniero Químico. Universidad Nacional del Altiplano, Puno Perú.
33. Fox B. & Cameron, A. (1995): "Ciencia de los alimentos nutrición y salud", Grupo Noriega Editorial, Limusa, p. 23-39.
34. García, G.; Quintero, R. & Lopez, M. (1998): "Biotecnología alimentaria". Mexico. Limusa. 537-539p.
35. García, G. & otros. (1993): "Biotecnología Alimentaria" Editorial LIMUSA, México.
36. García, L. M. (2009): "Reología de ligantes asfálticos mediante el viscosímetro brookfield". Centro de investigación Lemac.
37. Gallegos C.L.(2007): "Determinación de los parámetros óptimos (concentración, tiempo y temperatura) en la Hidrólisis Enzimática del

- lactosuero y kañihua*". Tesis. Pag.19 Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Altiplano. Puno –Perú.
38. Gianella, T. (2004): "*Chuño blanco. Tunta ó moraya: Un proceso natural de conservacion*". Revista de Agroecología: Manejando la poscosecha. Vol 20, Nro. 3, pp 29-31. Editorial Leisa América Latina. Lima - Perú.
39. Gonzales, R. E. (2002): "*Caracterización calorimetrica y reologica del almidón de la semilla de la Okenia Huypogaea (Schel. & Cham)*". Tesis Maestria CEPROBI-INP. Yautepec Morelos, Mexico.
40. Gonzales, S.; Herrero, R. & Pérez G. (2009): "*Diseño mecánico para medida de la viscosidad en fluido no newtoniano*". Proyecto fin de carrera, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Cartagena.
41. Gorosquieta, F. E. (2003): "*Obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de plátano empleando un reactor enzimático a nivel planta piloto*". Tesis de maestría. Centro de Desarrollo Productos Bióticos - IPN. Yautepec, Morelos-México.
42. Guzman-Maldonado. S. (1992): "*Optimización de un procedimiento enzimático para la licuefacción del almidón mediante la metodología de superficie de respuesta*". Tesis Licenciatura. INP Irapuato.
43. Hernández, U.J. (2004): "*Obtención de Jarabe de Fructosado a partir de Almidón de Plátano (Musa paradisiaca l.). Variedad Macho*". Tesis. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Yautepec- México.
44. Horcasitas M. & Mangaña -Plaza C.Y. (2002): "*Enzimas con aplicación industrial*". Avance y Perspectiva. 21: 279-282.
45. Hurtado, J.J. (1997): "*Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y de la resistencia a diferentes tratamientos estresantes*". Tesis. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
46. Instituto de Investigación Tecnológica (IIT), (1974): "*Norma técnica nacional obligatoria para glucosa de maíz*". N° 209.198, Lima-Perú.
47. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, INDECOPI (2007): "*Tubérculos procesados, papa deshidratada, tunta, requisitos y definiciones*". "Norma Técnica Peruana (NTP) 011.400. P.4. Lima- Perú.

48. Instituto Nacional de Investigación Agraria Estación Experimental, INIA (1996): "*Manual sobre la Producción de semilla de Papa Amarga en Puno - Programa de investigación en Papa y Camote*" Manual N° 01-96. Illpa-Puno, Perú.
49. Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas, ITINTEC (1996): "*Almidón de maíz no modificado uso industrial alimenticio y farmacéutico*" NTP 209.064. Lima, Perú.
50. Jimenez - Hernandez, J.; Salazar-Montoya, J.A. & Ramos-Ramirez, E.G.(2007): "*Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote(*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. Carbohydrate Polymers*", 68, 679-686.
51. Kirk, R.S.; Sawyer, R. & Egan, H. (2002): "*Composición y Análisis de los Alimentos de Pearson*". Compañía Editorial Continental. 4^{ta}- reimpresión. México.
52. Kolusheva, T., & Marinova,A.(2007): "*A study of the optimal conditions for starch hydrolysis through thermostable alfa amylase*".Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 42(1):93-96.
53. Maldonado, H. G. & Lopez, O.P.(1997): "*Amylolytic enzymes and products derived from dtach: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition*", v35, n.5, p. 373-403.
54. Méndez - Sánchez, L. (2010): "*Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos* ". Universidad Nacional Autónoma de México.
55. Mera I.; Hoyos, J.L.; Carrera J. & Forero C.L., (2003): "*Caracterización y Modificación enzimática de alfa –amilasa en la hidrólisis de almidón de yuca (Manihot esculenta)*". Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Sociedad. Universidad del Cauca.
56. Montgomery, D. C. (2008): "*Diseño y análisis de experimentos*". 2da. Edic. Limusa S.A. de C.V. México.
57. Moorthy, S.N. (2002): "*Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review*" Starch, 54: 559-592.

58. Myers, R. H. & Montgomery D.C. (2002):”*Experimental designs for fitting response surfaces-I. En: Response surface methodology. Process and product optimization using designed experimente*”. 2ª ed. Nueva York.
59. Nielsen, S. S. (2007).”*Análisis de los alimentos*”, manual de laboratorio, editorial Acribia S.A., Zaragoza - España.
60. Oosten, B. J. (1982):” *Tentative hipótesis to explain how electrolytes affect the gelatinization temperature of starches in water*”. Starch / Starke.34: 233-239.
61. Pancoast, H. M. & Junk, W. R. (1980):”*Handbook of sugar*”. AVI Publishing Co., Inc Westport, CT, USA.
62. Piñero, J. (2006): “*Obtención de un producto liquido mediante hidrolisis enzimática del almidón de sulú*”, Revista de la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Carabobo – Venezuela.
63. Piñero, J; Montañó G. & Cubas I. (2007): “*Obtención de un producto liquido mediante hidrolisis enzimática del almidón de sulú*”. Revista Agrollanía de Ciencia y Tecnología., Vol. 4. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Carabobo - Venezuela.
64. Ramírez J. (2006): “*Fundamentos de reología de alimentos*”. Valle – Colombia.
65. Rocha, P.M.G; Rodriguez, D.C.L. & Amante, R.E. (2005):”*Cassava and corn starch in maltodextrins producción*”. Química Nova, 28, 596-600.
66. Ruiz, R. (2005): “*Efecto de la licuefacción de la pulpa de mango, sobre la calidad del polvo de mango obtenida mediante secado por aspersión*”. Tesis. Universidad Autónoma Benito Juárez. Oaxaca – México.
67. Serna, L. F. & López, S. M. (2010): “*Actualización del manual del laboratorio de análisis de alimentos del programa de tecnología química*”. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
68. Singh, S.; Singh, J.;Kaur, L.; Sodhi, N.S. & Gill, B.S.(2003):”*Morphological, thermal and rheological properties os starches from different botanical sources - Areview*”. Food Chemistry, 81:219-231.
69. Siddiqui, K.(2009):”*3KWX A lpha-amylase A type-1/2. RCSB Protein Data Bank*”.Octubre 14, 2010].

70. Sodhi, H. K. (2005): "Production of a thermostable α -amylase from *Bacillus* sp. PS-7 by solid state fermentation and its synergistic use in the hydrolysis of malt starch for alcohol production. *Process Biochemistry*". Pag. 40(2):525-534.
71. Shamekh, S.; Myllarinen, O.; Pautanen, K. & Forsell, P. (2002): "Film formation properties of potato starch hydrolysed". *Starch*, 54:20-24
72. Tate H. & Lyle A. (2010): "World leader in carbohydrate ingredients". Amylum Group. Europa.
73. Taggart, P. (2004): "Starch as an ingredient: manufacture and Applications. In Eliasson, A-C, *Starch in food structure, function and application. Cambridge*" Reino Unido Woodhead Publishing limited
74. Tester, R.F., Karkalas, J. & Qui, X. (2004): "Starch-composition, fine structure and architecture". *Journal Cereal Science*, 39:151-165.
75. Tester, R. F.; Qi, X. & J. Karkalas. (2006): "Animal feed science and Technology", pp. 130, 39-54.
76. Torres, K. (2007): "Optimización de la etapa de hidrólisis acida en el proceso de fosfatación de almidón por extrusión para la encapsulación de aceite esencial de naranja". Tesis. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
77. Van de Veen, M.E.S., Veelaert, A.J., Van der Goot & Boom R.M. (2006): "Starch hydrolysis under low water conditions: a conceptual process design". *Journal of Food Engineering*, 75: 178-186.

ANEXO N° 1

PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE CHUÑO Y TUNTA

PROCESO	CHUÑO	TUNTA
a) Pesado Harina de Chuño y harina de tunta		
b) Inmersión		
c) Homogenizado		
d) Tamizado		
e) Sedimentación		
f) Lavado		

ANEXO N° 1

(Continuación)

<p>g) Centrifugado</p>		
 		
<p>h) Secado</p>		
<p>i) Molienda</p>		
<p>j) Envasado</p>		

ANEXO 2



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 LABORATORIO DE ANALISIS
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Ofic. Principal: Av La Molina 1981-La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS N°1707-2011

SOLICITANTE : Yuri Lipa Sosa.
 Mónica Néida Maquera Ccalle.
 DIRECCION : Puno.
 PROCEDENCIA : Almídon de Chuño y Tunta.
 PRODUCTO : Amilosa y amilopectina.
 TIPO DE ANALISIS : 01.
 N° DE ANALISIS : 07 de Noviembre del 2011.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 11 de Noviembre del 2011.
 FECHA DE CERTIFICACIÓN :

Determinaciones	Almídon Químicamente Puro	Almídon Químicamente Puro	Almídon Químicamente Puro	Chuño Negro	Chuño Negro	Chuño Negro	Chuño Blanco	Chuño Blanco	Chuño Blanco
Amilosa %	0,10	0,09	0,10	21,10	20,78	21,60	22,18	21,74	22,66
Amilopectina %	99,90	99,99	99,98	79,00	79,24	78,99	77,65	78,24	77,12

Normas ó Métodos de ensayo utilizados en el Laboratorio:

Determinación de amilosa y amilopectina con Hidróxido de Sodio 1 N Lectura en Espectrofotómetro a 620 nm Técnica usada (ISO 1987).

Conclusiones:

La muestra analizada de Almídon Chuño y Tunta CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
 Jefe Laboratorio Análisis
 SALCEDO

Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso del Laboratorio.

ILLPA : Carretera Puno - Juliaca , Km. 22 Telf. (051) 62-2779
 PUNO (Sede): Rinconada de Salcedo, Telefax (051) 36-3812 Cel. (051) 62-2760
 e-mail : illpa@inia.gob.pe, jcanihua@inia.gob.pe.

ANEXO 3



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 LABORATORIO DE ANALISIS
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Ofic. Principal: Av La Molina 1981-La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS N°1709-2011

SOLICITANTE : Yuri Lipa Sosa.
 : Mónica Néilda Maquera Ccalle.
 DIRECCION :
 PROCEDENCIA : Puno.
 PRODUCTO : Almidón de Chuño Negro y Chuño Blanco.
 TIPO DE ANALISIS : Análisis Físico Químico Proximal.
 N° DE ANALISIS : 01.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 07 de Noviembre del 2011.
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 11 de Noviembre del 2011.

Determinaciones	Almidón de Chuño	
	Negro	Blanco
Humedad %	10,90	9,50
Proteína (N x 6,25) %	0,35	0,16
Fibra %	0,00	0,00
Cenizas %	0,50	0,40
Grasa %	0,00	0,00
ELN %	88,25	89,94
Energía (Kcal/100g)	357,42	362,96
Acidez %	0,00	0,00
Impurezas macroscópicas %	0,00	0,00

Normas ó Métodos de ensayo utilizados en el Laboratorio:

- NTP 209.262 Alimentos Determinación de Proteína Método Kjeldahl (F.C. 6.25).
- NTP 209.263 Alimentos Determinación de Grasa Método Gravimétrico.
- NTP 209.264 Alimentos Determinación de Humedad Método Por diferencia.
- NTP 209.265 Alimentos Determinación de Cenizas Método Gravimétrico.
- NTP 209.266 Alimentos Determinación de Acidez Método Volumétrico.
- NTP 209.269 Alimentos Determinación de Fibra Método Weendy.

Conclusiones:

La muestra analizada de Almidón de Chuño Negro y Chuño Blanco CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



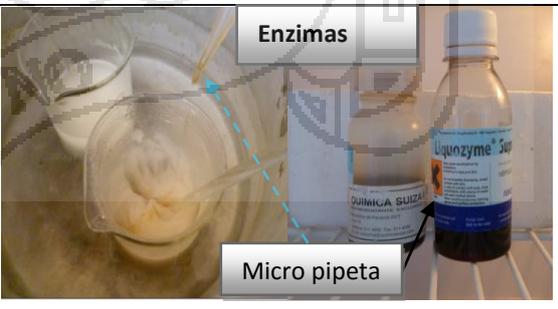
INIA
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
 Jefe Laboratorio Análisis
 SALCEDO

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso del Laboratorio.

ILLPA : Carretera Puno - Juliaca , Km. 22 Telf. (051) 62-2779
 PUNO (Sede): Rinconada de Salcedo, Telefax (051) 36-3812 Cel. (051) 62-2760
 e-mail : illpa@inia.gob.pe, jcanihua@inia.gob.pe.

ANEXO 4
PROCESO DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE CHUÑO Y TUNTA

Proceso	Almidón de chuño	Almidón de Tunta
a) Pesado		
b) Suspensión del almidón de chuño y tunta al 20% (p/v)		
c) Acondicionamiento	 <p>Cloruro de calcio</p> <p>pH</p>	
d) Tratamiento térmico	 <p>Almidón gelatinizado</p>	
e) Licuefacción	 <p>Enzimas</p> <p>Micro pipeta</p>	

ANEXO 4
(continuación)

<p>Licuefacción</p>		
<p>f) Inactivación</p>		
<p>g) Centrifugación</p>		
<p>h) Sacarificación</p>		
<p>i) Esterilización de envases</p>		
<p>j) Refrigeración</p>		

Jarabe de chuño y tunta

ANEXO 5**PICNÓMETRO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD
EN MALTODEXTRINAS Y JARABES DE GLUCOSA****ANEXO 6****POTENCIÓMETRO PARA LA DETERMINACIÓN DE pH
EN JARABES DE GLUCOSA****ANEXO 7****ESTUFA PARA LA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD**

ANEXO 8

DESECADOR DE HUMEDAD



ANEXO 9

SOLUCIÓN FEHLING "A" Y "B"



ANEXO 10

DETERMINACIÓN CUALITATIVA DE AZUCARES REDUCTORES



ANEXO 11

SISTEMA PARA LA DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD APARENTE EN JARABES DE GLUCOSA





ANEXO 12



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
 FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
 Y ZOOTECNIA

UNA-PUNO
 FAC. MED. VET. y ZOOT.
 Laboratorio de Bioquímica



CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 03-2012

Solicitante : Lipa Sosa Yuri y Maquera Ccalle Mónica Néilda
 Muestra : Jarabe de glucosa de chuño y tunta
 Procedencia : Puno
 Análisis solicitado : Determinación de color
 Número de muestras : 40 (20 de chuño y 20 de tunta).
 Técnica de análisis : Espectrofotométrico
 Fecha de recepción : 26-10-2012

Conste por el presente certificado que en el Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNA-Puno, se ha realizado la determinación de Color expresadas en Unidades de Densidad Óptica en muestras de jarabe de chuño y tunta, siendo los resultados los siguientes:

N°	CHUÑO		TUNTA	
	UDO	Color visual	UDO	Color visual
1	0.02802872	agua - paja muy ligero	0.02880356	agua - paja muy ligero
2	0.02996322	agua - paja muy ligero	0.02758352	agua - paja muy ligero
3	0.0417913	agua - paja muy ligero	0.03151705	agua - paja muy ligero
4	0.03930973	Paja muy ligero - paja ligero	0.03891807	Paja muy ligero - paja ligero
5	0.02703149	agua - paja muy ligero	0.03392612	agua - paja muy ligero
6	0.03591256	Paja muy ligero - paja ligero	0.03839639	Paja muy ligero - paja ligero
7	0.0310125	agua - paja muy ligero	0.03680265	Paja muy ligero - paja ligero
8	0.02758352	agua - paja muy ligero	0.03532796	Paja muy ligero - paja ligero
9	0.03066882	agua - paja muy ligero	0.03707131	Paja muy ligero - paja ligero
10	0.02942871	agua - paja muy ligero	0.03307646	agua - paja muy ligero
11	0.03957783	Paja muy ligero - paja ligero	0.0289949	agua - paja muy ligero
12	0.04042866	Paja muy ligero - paja ligero	0.03976713	Paja muy ligero - paja ligero
13	0.04679219	Paja muy ligero - paja ligero	0.03385827	agua - paja muy ligero
14	0.02952029	agua - paja muy ligero	0.02877174	agua - paja muy ligero
15	0.04487027	Paja muy ligero - paja ligero	0.0448305	Paja muy ligero - paja ligero
16	0.04898646	Paja muy ligero - paja ligero	0.04892589	Paja muy ligero - paja ligero
17	0.03515312	Paja muy ligero - paja ligero	0.0407598	Paja muy ligero - paja ligero
18	0.03696338	Paja muy ligero - paja ligero	0.04386925	Paja muy ligero - paja ligero
19	0.03983398	Paja muy ligero - paja ligero	0.04139269	Paja muy ligero - paja ligero
20	0.0414869	Paja muy ligero - paja ligero	0.04575749	Paja muy ligero - paja ligero

Se expide el presente certificado a solicitud de las interesadas para fines que vean por conveniente.

Puno, CU, 10 de Diciembre del 2012.

Mano firmada
 Laboratorio de Bioquímica
 M. Sc. Pedro Coila Añasco
 Jefe de Laboratorio
 UNA PUNO

ANEXO 13



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 366190 - Fax (051) 366190



CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE, DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO.

HACE CONSTAR:

Que, las señorita(s) bachiller(es), YURI LIPA SOSA y MONICA NELIDA MAQUERA CCALLE, Egresadas la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano - PUNO, han desarrollado la determinación de Viscosidad en Jarabes de Glucosa de Chuño y Tunta", en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-PUNO, los días 14 de abril, 18 de mayo y 21 de noviembre del 2012.

Se expide la presente constancia a solicitud de las interesadas para los fines que estimen por conveniente.

Puno C.U., 07 de Diciembre de 2012



Walter B. Aparicio Araya Ph.D.
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
UNA - PUNO

ANEXO 14

**CERTIFICADO**

El que suscribe, **Coordinador del Programa de Semillas de la Estación Experimental Agraria Illpa Puno - INIA**, certifica que las señoritas:

- Yuri Lipa Sosa.
- Mónica Nélide Maquera Ccalle.

Han adquirido 12 kg de harina de chuño y tunta derivados de la papa amarga variedad Loq'a de la Estación Experimental Illpa - Puno, que realiza el procesamiento de los productos "Tunta y Chuño" de diferentes variedades de papa dulce y papa amarga, provenientes de los campos comerciales de papa, para diversificar su uso y por ser alimentos de alto consumo, de importancia Comercial en toda la región andina como fuentes de ingresos económicos, por sus bondades nutricionales y por su prolongada conservación como alimento.

Se expide el presente, para los fines que vieran por conveniente.

Salcedo, 3 de octubre del 2011.



Rodolfo Cahuana Quispe
 Ing. Rodolfo Cahuana Quispe
 Coordinador del Programa de Semillas de la Estación
 Experimental Agraria Illpa Puno.

APÉNDICE 1: Almidón de chuño y tunta % de amilosa y amilopectina.

Almidón	Amilosa			Amilopectina		
AQP	0,10	0,09	0,10	99,9	99,99	99,98
CHUÑO	21,10	20,78	21,74	79	79,24	78,99
TUNTA	22,18	21,74	22,66	77,65	78,24	77,12

APÉNDICE 2: Análisis de varianza de amilosa del almidón de chuño y de AQP.**Análisis de varianza: AMILOSA**

F de V	GL	SC	CM	Fc	P	Sig.	F(0.05)	F(0.01)
Amilosa	1	665.4960	665.4960	7791.17	0.000	**	7.709	21.198
Error	4	0.3417	0.0854					
Total	5	665.8377						

Sig.: significancia,* = diferencia significativa ($\rho < 0.05$), ns = no significancia ($\rho > 0.05$), ** = diferencia estadística altamente significativa ($\rho < 0.05$).

Si $\rho \leq \alpha$ { $\alpha = 0.05$ * $\Leftrightarrow F_{\text{calculada}} > F_{\text{tabulada}}$ & $\alpha = 0.01$ ** $\Leftrightarrow F_{\text{calculada}} > F_{\text{tabulada}}$ }

APENDICE 3: Prueba de Tukey al 95 % de confianza de amilosa

Comparación de Tukey	N	Mean	Grouping
Chuño	3	21.160	a
AQP	3	0.097	b

Valores con diferentes letras son estadísticamente diferentes

APÉNDICE 4: Análisis de varianza de amilopectina del almidón de chuño y de AQP.**Análisis de varianza: AMILOPECTINA**

F de V	GL	SC	CM	Fc	ρ	Sig.	F(0.05)	F(0.01)
Amilopectina	1	653.917	653.917	58216.1	0.000	**	7.709	21.198
Error	4	0.045	0.011					
Total	5	654.007						

APENDICE 5: Prueba de Tukey al 95 % de confianza de amilopectina

Comparación de Tukey	N	Mean	Grouping
Chuño	3	79.077	a
AQP	3	99.957	b

APÉNDICE 6: Análisis de varianza de amilosa del almidón de tunta y de AQP.**Análisis de varianza: AMILOSA**

F de V	GL	SC	CM	Fc	P	Sig.	F(0.05)	F(0.01)
Amilosa	1	732.394	732.394	6916.99	0.000	**	7.709	21.198
Error	4	0.424	0.106					
Total	5	732.818						

APENDICE 7: Prueba de Tukey al 95 % de confianza de amilosa

Comparación de Tukey	N	Mean	Grouping
Tunta	3	22.193	a
AQP	3	0.097	b

APÉNDICE 8: Análisis de varianza de amilopectina del almidón de tunta y de AQP.**Análisis de varianza: AMILOPECTINA**

F de V	GL	SC	CM	Fc	ρ	Sig.	F(0.05)	F(0.01)
Amilopectina	1	745.043	745.043	4710.49	0.000	**	7.709	21.198
Error	4	0.633	0.158					
Total	5	745.676						

APENDICE 9: Prueba de Tukey al 95 % de confianza de amilopectina

Comparación de Tukey	N	Mean	Grouping
Tunta	3	77.670	a
AQP	3	99.957	b



APENDICE 10. Procedimiento para la determinación de la dextrosa equivalente en la etapa de licuefacción

ρ H ₂ O a 14 °C (g/ml)		W picnómetro (g)		W (picnómetro + agua) (g)		Gasto (1era titulación) (ml)		Dextrosa pura gr /ml		Factor Fehling		Volumen de aforo (ml)	
0.99911		23.02		47.424		14.1		0.01		0.141		125	
C: Maltodextrina													
Ts													
Chuíño				Tunta									
W picnómetro + muestra (g)	ρ (g/m)	G	Gasto 2da titulación	% AR	W picnómetro + muestra (g)	ρ (g/m)	G	Gasto 2da titulación	% AR				
1	1.18	8.85	17	11.71	50.593	1.13	8.47	26.1	7.98				
2	1.08	8.09	20.9	10.43	51.153	1.15	8.64	22.8	8.95				
3	1.09	8.15	12.4	17.43	50.738	1.13	8.51	19.2	10.79				
4	1.10	8.27	17	12.54	51.588	1.17	8.77	21.7	9.26				
5	1.07	8.03	22	9.974	49.378	1.08	8.09	24	9.07				
6	1.03	7.74	18	12.65	50.953	1.14	8.58	18.8	10.93				
7	1.05	7.87	19	11.78	50.148	1.11	8.33	19.3	10.96				
8	1.09	8.18	20.5	10.51	49.485	1.08	8.13	17.6	12.32				
9	1.08	8.07	18	12.14	51.171	1.15	8.64	24.4	8.36				
10	1.08	8.08	25	8.72	51.299	1.16	8.68	25	8.12				
11	1.10	8.24	15.6	13.71	49.597	1.09	8.16	24.1	8.96				
12	1.05	7.91	18	12.39	50.513	1.13	8.44	22.6	9.24				
13	1.04	7.83	21	10.71	50.567	1.13	8.46	21.9	9.51				
14	1.07	8.01	19.9	11.06	51.314	1.16	8.69	22.1	9.18				
15	1.042	7.812	13.6	16.59	49.951	1.103	8.269	18.1	11.78				
16	1.04	7.71	13.3	16.99	49.955	1.103	8.27	17.7	12.04				
17	1.04	7.71	13.3	16.99	49.959	1.103	8.27	17.8	11.97				
18	1.04	7.80	13.6	16.61	49.953	1.103	8.27	18.1	11.78				
19	1.04	7.81	13.3	16.98	49.945	1.102	8.27	17.8	11.98				
20	1.04	7.81	13.8	16.36	49.949	1.103	8.27	18	11.84				

$$\rho = \left[\frac{(W_{\text{picnómetro + muestra}}) - (W_{\text{picnómetro}})}{(W_{\text{picnómetro + agua}}) - (W_{\text{picnómetro}})} \right] * \rho_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$G(\text{gramos de la muestra problema}) = \rho * \text{volumen}$$

Factor de fehling = ml gastados en la primera titulación * 0.1

$$\% \text{ AR} = \left(\frac{\text{factor de fehling} * \text{Volumen de aforo}}{\text{gasto en la segunda titulación}} \right) * 100\%$$

b: Concentración; C: Muestra (maltodextrina)



APENDICE 10. (Continuación)

Ts	C Maltodextrina									
	Chufío					Tunta				
	W placa +mh (g)	W placa +ms (g)	% substancia seca	% DE	W placa +mh (g)	W placa +ms (g)	% substancia seca	% DE		
1	49.08	45.501	59.5728267	19.66	52.752	47.422	37.045086	21.53		
2	49.097	45.448	54.8842634	19	55.153	50.134	41.8984663	21.36		
3	48.56	45.325	60.3252292	28.90	42.001	37.563	47.8550981	22.54		
4	47.907	44.241	55.6604851	22.53	56.029	50.842	40.8679606	22.66		
5	50.331	47.099	59.7635127	16.69	49.399	44.547	40.0492272	22.66		
6	59.179	55.39	51.0516331	24.78	55.003	50.253	44.6187855	24.50		
7	51.644	47.911	52.5782875	22.41	58.463	54.046	46.9731206	23.34		
8	42.012	38.643	58.818294	17.87	55.201	50.853	46.493803	26.51		
9	52.008	48.626	58.0692102	20.91	43.184	37.999	40.0151771	20.88		
10	42.283	37.999	46.9929635	18.56	49.201	43.699	36.6359416	22.16		
11	50.253	46.936	59.7575245	22.94	48.439	43.779	42.8960162	20.89		
12	57.937	53.692	46.3003759	26.75	52.568	47.599	41.1382308	22.46		
13	48.797	44.915	50.4419174	21.24	46.753	41.581	38.8536336	24.49		
14	51.017	47.475	55.7553609	19.84	48.699	42.951	33.8379646	27.13		
15	55.303	51.539	51.8161072	32.02	47.682	42.885	41.9959369	28.04		
16	55.316	51.535	51.5241746	32.98	47.687	42.886	41.9561860	28.70		
17	55.315	51.535	51.5369955	32.97	47.685	42.884	41.9648046	28.53		
18	55.301	51.546	51.8764628	32.02	47.687	42.886	41.9518758	28.07		
19	55.318	51.531	51.4854466	32.97	47.687	42.886	41.9346284	28.56		
20	55.301	51.546	51.9143076	31.50	47.687	42.886	41.9432534	28.23		

$$SS = 100\% \left[1 - \left(\frac{W_{mh} - W_{ms}}{W_{muestra\ húmeda}} \right) \right]$$

$$\%DE = \left(\frac{\% \text{ azúcares reductores}}{SS} \right) * 100\%$$

mh: muestra húmeda, ms: muestra seca, SS: substancia seca,



APENDICE 11. Procedimiento para la determinación de la dextrosa equivalente en la etapa de sacarificación

ρ H ₂ O a 14 °C (g/ml)	0.99911	W picnómetro (g)	23.02	W (picnómetro + agua) (g)	47.424	Gasto (1era titulación) (ml)	14.1	Dextrosa pura gr /ml	0.01	Factor Fehling	0.141	Volumen de aforo (ml)	125
c. Jarabe													

Ts	Chuño				Tunta					
	W picnómetro + muestra (g)	ρ (g/m)	G	Gasto 2da titulación	% AR	W picnómetro + muestra (g)	ρ (g/m)	G	Gasto 2da titulación	% AR
1	50.04	1.11	8.30	11.6	18.31	51.569	1.17	8.77	10.4	19.33
2	50.908	1.14	8.56	10.7	19.24	52.169	1.19	8.95	11.6	16.98
3	50.139	1.11	8.33	9.9	21.38	51.817	1.18	8.84	10	19.93
4	51.657	1.17	8.79	8.7	23.04	51.552	1.17	8.76	9	22.35
5	50.321	1.12	8.38	11.8	17.82	49.721	1.09	8.20	10.9	19.72
6	49.977	1.10	8.28	10.4	20.47	49.571	1.09	8.15	11.3	19.13
7	49.977	1.10	8.28	10.2	20.88	50.152	1.11	8.33	11.5	18.40
8	51.805	1.18	8.84	8.2	24.32	52.264	1.20	8.98	8.4	23.37
9	50.208	1.11	8.35	11.2	18.85	50.171	1.11	8.34	11	19.22
10	50.496	1.12	8.44	9.9	21.10	50.281	1.12	8.37	9.5	22.16
11	50.056	1.11	8.30	13.4	15.84	50.2	1.11	8.35	12	17.60
12	49.908	1.10	8.26	9.7	22.01	51.122	1.15	8.63	9.6	21.28
13	49.984	1.10	8.28	10.2	20.87	50.324	1.12	8.38	10.4	20.21
14	50.579	1.13	8.46	9	23.14	50.418	1.12	8.41	10	20.95
15	50.242	1.11	8.30	7.7	27.57	50.381	1.12	8.40	8	26.22
16	50.053	1.11	8.30	7.5	28.31	50.378	1.12	8.40	8	26.23
17	50.132	1.11	8.30	7.6	27.94	50.391	1.12	8.40	8.2	25.57
18	50.054	1.11	8.30	7.7	27.57	50.379	1.12	8.40	8	26.23
19	50.103	1.11	8.30	7.9	26.88	50.389	1.12	8.40	8	26.22
20	50.155	1.11	8.30	7.6	27.94	50.395	1.12	8.41	8	26.21

$$\rho = \left[\frac{(W_{\text{picnómetro+muestra}}) - (W_{\text{picnómetro}})}{(W_{\text{picnómetro+agua}}) - (W_{\text{picnómetro}})} \right] * \rho_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$G(\text{gramos de la muestra problema}) = \rho * \text{volumen}$$

$$\text{Factor de fehling} = \text{ml gastados en la primera titulación} * 0.1$$

$$\% \text{ AR} = \left(\frac{\text{factor de fehling} * \text{Volumen de aforo}}{\text{gasto en la segunda titulación}} \right) * 100\%$$

b : Concentración, c : Muestra (jarabe).



APENDICE 11. (Continuación)

Ts	Chufío				Jarabe				Tunta			
	W placa +mh (g)	W placa +ms (g)	% substancia seca	% DE	W placa +mh (g)	W placa +ms (g)	% substancia seca	% DE	W placa +mh (g)	W placa +ms (g)	% substancia seca	% DE
1	41.977	39.13	65.684639	27.88	38.505	35.681	67.78484399	28.5206049				
2	39.006	36.445	70.0926	27.44	40.603	36.995	59.68846685	28.4409108				
3	58.179	55.602	69.052384	30.96	50.857	48.011	67.81347458	29.3935695				
4	46.766	43.792	66.177953	34.81	51.395	48.589	67.97110922	32.8864118				
5	41.699	38.878	66.347992	26.86	40.51	38.011	69.51928316	28.3697993				
6	54.571	51.099	58.053609	35.27	49.31	46.001	59.41156263	32.2021799				
7	53.43	50.966	70.231593	29.72	40.883	37.961	64.92603613	28.3345967				
8	51.428	48.496	66.827044	36.39	49.411	46.498	67.5593045	34.5871153				
9	39.831	37.194	68.412205	27.55	53.722	51.031	67.72142787	28.3799059				
10	56.945	53.984	64.902891	32.51	39.011	36.071	64.87696837	34.163286				
11	39.812	36.915	65.102646	24.34	50.586	47.704	65.46726538	26.8819441				
12	56.97	54.258	67.151342	32.77	56.011	53.219	67.6432695	31.4544807				
13	39.665	36.974	67.49757	30.92	42.947	40.242	67.73551412	29.8428853				
14	38.751	36.206	69.924644	33.10	41.366	38.581	66.89506151	31.3186226				
15	51.173	48.609	69.111689	39.90	36.734	34.084	68.45719182	38.306682				
16	51.141	48.609	69.497190	40.74	36.73	34.053	68.13231812	38.493559				
17	51.164	48.608	69.208064	40.37	36.764	34.083	68.09985946	37.554746				
18	51.165	48.599	69.087595	39.91	36.721	34.096	68.75248139	38.144944				
19	51.107	48.659	70.509132	38.12	36.704	34.089	68.88289318	38.058816				
20	51.16	48.589	69.027360	40.47	36.759	34.084	68.17590182	38.445062				

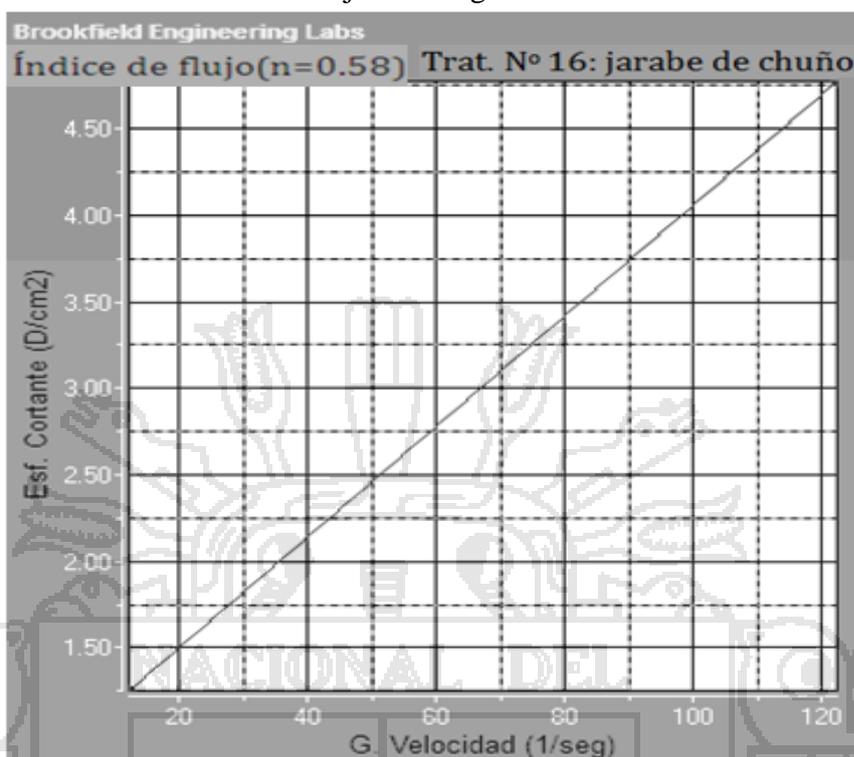
$$SS = 100\% \left[1 - \left(\frac{W_{mh} - W_{ms}}{W_{muestra\ húmeda}} \right) \right]$$

$$\%DE = \left(\frac{\% \text{ azúcares reductores}}{SS} \right) * 100\%$$

mh: muestra húmeda, ms: muestra seca, SS: substancia seca.

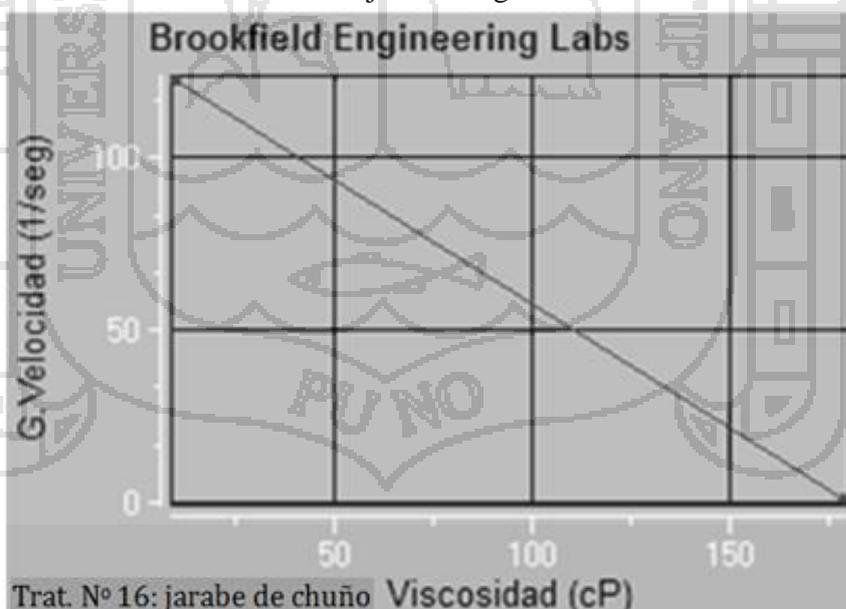
APÉNDICE 12

Curva de fluidez del jarabe de glucosa de chuño



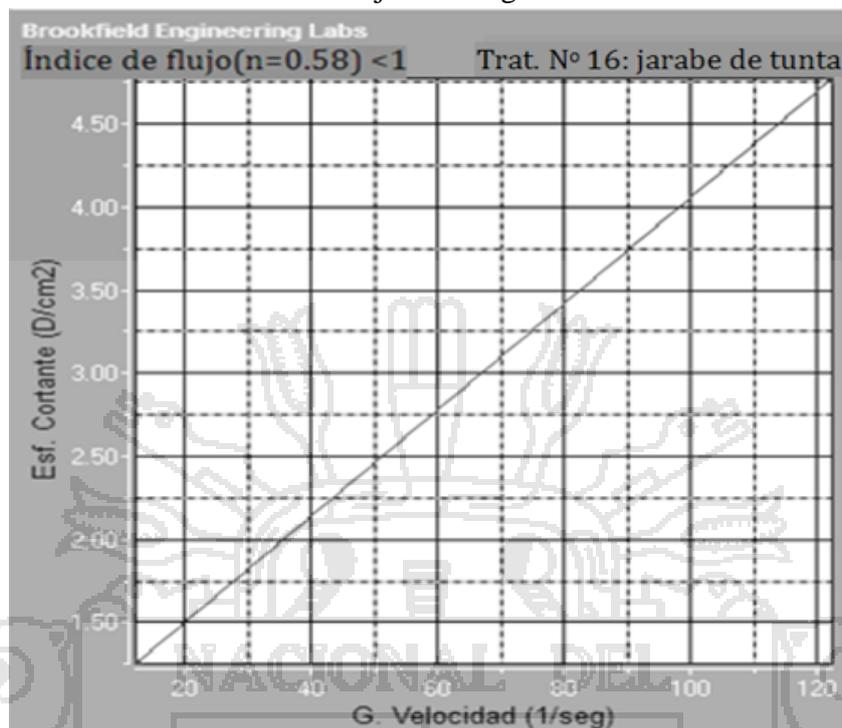
APÉNDICE 13

Curva de viscosidad del jarabe de glucosa de chuño



APÉNDICE 14

Curva de fluidez jarabe de glucosa de tunta



APÉNDICE 15

Curva de viscosidad jarabe de glucosa de tunta

